

Rasmus Hakala

# Automaattisten hätäjarrutusjärjestelmien (AEB) testi- ja arviointimenetelmän kehitys

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Ajoneuvotekniikka

Insinöörityö

19.9.2018

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Rasmus Hakala Automaattisten hätäjarrutusjärjestelmien (AEB) testi- ja arviointimenetelmän kehitys 66 sivua + 8 liitettä 19.9.2018
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Ajoneuvotekniikka
Ammatillinen pääaine	Autosähkötekniikka
Ohjaajat	Lehtori Pasi Kovanen Testituottaja Aimo Niemi, Tekniikan Maailma
<p>Tämän insinöörityön aiheena oli kehittää Tekniikan Maailmalle (TM) automaattisten hätäjarrutusjärjestelmien (AEB) testi- ja arviointimenetelmä. Tavoitteena oli, että testi perustuu liikenteessä esiintyviin todellisiin vaaratilanteisiin ja tuottaa vertailukelpoisia tuloksia. Lisävaatimuksia olivat helppokäyttöisyys ja kustannustehokkuus. Tulevaisuudessa tapahtuvaa kehitystä ajatellen oli mahdollistettava testitilanteiden ja arviointikriteerien päivitys.</p> <p>Työn aluksi perehdyttiin AEB-järjestelmien toimintaan sekä niissä hyödynnettävään anturitekniikkaan. Lisäksi perehdyttiin nykyisiin AEB-testeihin, joista Euro NCAP:n testit osoittautuivat kaikkein monipuolisimmiksi. Näiden lisäksi tutustuttiin tietoihin Suomen liikenneonnettomuuksista.</p> <p>Tärkeä osa työn toteutusta olivat alustavien suunnitelmien perusteella tehty AEB-testit, joita tehtiin sekä talvi- että kesäolosuhteissa. Nämä käytännön testit nostivat esiin kysymyksiä sekä selkeästi parannusta vaativia seikkoja testimenetelmässä. Kysymyksiin jouduttiin etsimään vastauksia muun muassa haastatteleamalla suomalaisia ja eurooppalaisia autoalan ammattilaisia.</p> <p>Olennainen havainto työn aikana oli, että vuosittain Suomessa kuolee jalankulkijoiden ja henkilöautojen välisissä onnettomuuksissa merkittävästi enemmän ihmisiä kuin peräänajoissa. Siksi AEB-testiin on tärkeää sisällyttää jalankulkijatunnistusta testaavia tilanteita. Jalankulkijanuken on tuotettava ihmistä muistuttava heijaste tutkalle, sillä jalankulkijan tunnistuksessa hyödynnetään kameran lisäksi myös tutkaa. Oikeanlaisen jalankulkijanuksen kehitys vaatii lisää työtä. Lisäksi autojen jalankulkijaa suojaavat turvalaitteet, kuten aktiivinen konepelti, on mahdollisesti kytkettävä pois käytöstä testin ajaksi.</p> <p>Työn tuloksena valmistui testi- ja arviointimenetelmä AEB-järjestelmien testaamiseksi peräänajotilanteissa sekä talvi- että kesäolosuhteissa. Testimenetelmä otettiin käyttöön alkusyksystä 2018, ja ensimmäistä kertaa AEB-testi vaikuttaa arviointiin autojen vertailutestissä TM:n numerossa 20/2018.</p>	
Avainsanat	Automaattinen hätäjarrutusjärjestelmä, AEB, ADAS, Tekniikan Maailma



Author Title Number of Pages Date	Rasmus Hakala Testing and Evaluating Autonomous Emergency Braking Systems (AEB) 66 pages + 8 appendices 19 <sup>th</sup> September 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automotive Engineering
Professional Major	Automotive Electronics Engineering
Instructors	Pasi Kovanen, Lecturer Aimo Niemi, Test Producer, Tekniikan Maailma
<p>The purpose of this thesis was to develop test protocol and evaluation criteria of Autonomous Emergency Braking systems (AEB) for the Finnish motoring magazine Tekniikan Maailma. The objective was that the test would be based on real-life accident scenarios. The results should also be comparable. Other objectives were that the test protocol should be cost-efficient and easy to use. The future development of AEB systems were taken into account so that testing and evaluating could be revised in the future.</p> <p>The thesis began with a study of AEB systems and the sensors used. Other AEB test protocols were also studied. The AEB tests of the Euro NCAP proved to be the most versatile. In addition to these data of motoring accidents in Finland were also studied.</p> <p>An important part of the thesis were the initial AEB tests in winter and summer conditions. These tests raised several questions and revealed problems in the initial testing protocol. To find answers to these questions many Finnish and European experts in the field of the automotive industry had to be interviewed.</p> <p>An essential finding was that in the motoring accidents there are significantly more casualties in pedestrian accidents than in rear-end collisions. This is why it is important to include pedestrian testing in the test protocol. The pedestrian dummy has to represent a real pedestrian for camera and also radar due to sensor fusion. It means that camera makes the initial detection and radar confirms it. Therefore, the development of the pedestrian dummy needs more time. Also, the pedestrian protection systems, such as an active bonnet might have to be deactivated for the test.</p> <p>As a result of this thesis a test protocol and evaluation criteria for AEB systems in rear-end crash situations were developed. The protocol was optimized for tests in both summer and winter conditions. The test was launched in autumn 2018. For the first time the AEB test results will have an effect on the overall evaluation in the vehicle comparison test in the Tekniikan Maailma issue 20/2018.</p>	
Keywords	Autonomous Emergency Braking system, AEB, ADAS, Tekniikan Maailma

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Automaattinen hätäjarrutusjärjestelmä	3
2.1	City Safetyn toimintaperiaate	4
2.2	Muut hyödynnettävät teknologiat	8
2.3	Toiminnan rajoitteet	11
2.3.1	Volvon City Safetyn rajoitteet	11
2.3.2	Muiden valmistajien järjestelmien rajoitteet	12
3	Viralliset AEB-testit	14
3.1	UNECE:n lakivaatimukset raskaan kaluston AEB-järjestelmille	15
3.2	UNECE:n AEB-tyyppihyväksyntätestit N2-luokan ajoneuvolle	16
3.3	Yleistietoa Euro NCAP:n AEB-testeistä	17
3.4	Euro NCAP:n AEB Inter Urban -testi	22
3.5	Euro NCAP:n AEB City -testi	24
3.6	Euro NCAP:n AEB VRU -testi	24
3.7	NHTSA:n FCW-testit	26
3.8	IIHS:n AEB-testit	26
4	TM:n testimenetelmän suunnittelu	28
4.1	Onnettomuustilastot ja -tilanteet	28
4.1.1	Esimerkkitapaus: peräänajo maantiellä	29
4.1.2	Esimerkkitapaus: törmäys jalankulkijaan kaupunkiliikenteessä	30
4.2	Testitilanne ja testilaitteisto: peräänajo	30
4.3	Testitilanne ja testilaitteisto: jalankulkijat	34
4.4	Testausalue ja -olosuhteet	36
4.5	Alustava testiohje ja pöytäkirja	37
5	Testimenetelmän toteutus käytännössä	38
5.1	Talvitesti	39
5.2	Kesätestit	41
5.3	Jatkotestit	44

5.4	Virhemahdollisuuksien arviointi	45
5.5	Dokumentointi	46
5.6	Testiohje, -tarvikkeet sekä -radan pohjapiirros	47
6	Arviointikriteerit	47
6.1	Arviointikriteerit talvella	52
6.2	Arvioinnin ongelmat	53
7	Käyttöönotto	53
8	Tulevaisuudessa tapahtuva kehitys	55
9	Kustannukset	58
10	Yhteenveto	59
	Lähteet	62

#### Liitteet

Liite 1. Lista luetuista käyttöohjekirjoista

Liite 2. Testiohje AEB-järjestelmille: peräänajo 100 %, kesä

Liite 3. Testiohje AEB-järjestelmille: peräänajo 100%, Talvitesti

Liite 4. AEB-testin pöytäkirja

Liite 5. AEB-testin tarvikkeet

Liite 6. AEB-testiradan pohjapiirros

Liite 7. AEB-järjestelmän arvostelukriteerit, arvosanarajat ja painotus (kesä)

Liite 8. AEB-järjestelmän arvostelukriteerit, arvosanarajat ja painotus (Talvitesti)

## Lyhenteet

ADAS	Advanced Driver Assistance Systems. Kuljettajan toimintaa tukevien edistyksekkösten turvajärjestelmien yleisnimitys.
AEB	Autonomous Emergency Braking. Automaattinen hätäjarrutusjärjestelmä, joka aktivoituu anturien havaitessa törmäyksen uhkaavan.
ASDM	Active Safety Domain Master. Aktiivisen turvallisuuden ohjainlaite Volvo-henkilöautoissa.
Euro NCAP	European New Car Assessment Programme. Uusien autojen turvallisuutta Euroopassa arvioiva ohjelma.
FCW	Forward Collision Warning. Kuljettajaa uhkaavasta törmäyksestä varoittava audiovisuaalinen järjestelmä.
GVT	Global Vehicle Target. Anturiherätteiltään oikeaa ajoneuvoa simuloiva este, johon voi törmätä vaurioittamatta testiautoa.
HMI	Human Machine Interface. Käyttöliittymä eli käyttökytkimet, näytöt sekä visuaaliset valikot, joilla järjestelmän toimintoja ohjataan.
IIHS	Insurance Institute for Highway Safety. Yhdysvaltalainen järjestö, jonka tavoitteena on vähentää auto-onnettomuuksien seurauksia.
LIDAR	Light Detection and Ranging. Anturitekniikka, jolla mitataan etäisyyksiä laserpulssia ja sen kulkuaikaa hyödyntämällä.
NHTSA	National Highway Traffic Safety Administration. Yhdysvaltain hallinnon virasto, jonka tavoite on parantaa autoilun turvallisuutta maassa.
OTI	Onnettomuustietoinstituutti. Suomen liikennevakuutuskeskuksen yksikkö, joka muun muassa hallinnoi onnettomuustutkintojen tietoja.
PMD	Photonic Mixer Device. LIDAR-tunnistimen kameramainen sovellus.

TM	Tekniikan Maailma. Suomalainen autoja ja tekniikkaa testaava kuluttajille suunnattu aikakauslehti.
UNECE	United Nations Economic Commission for Europe. YK:n Euroopan talouskomissio, jonka laatii muun muassa lakivaatimuksia ajoneuvoille.
VRU	Vulnerable Road Users. Kevyt liikenne, kuten jalankulkijat ja pyöräilijät.

## 1 Johdanto

Uusissa autoissa yleistyvät yhä enenevässä määrin automaattisesti toimivat aktiiviset turvallisuusjärjestelmät kuten automaattinen hätäjarrutusjärjestelmä AEB (Autonomous Emergency Braking). Ilman AEB:tä ei Euro NCAP:n (European New Car Assessment Programme) törmäystesteistä ole mahdollista saada parasta viiden tähden tulosta. Viime vuosien aikana järjestelmät ovat kehittyneet ja testien vaatimukset kiristyneet. Vuodelle 2018 lanseerattiin uusi testiprotokolla, jonka myötä järjestön AEB-testit kattavat monipuoliset kohtaamistilanteet kevyen liikenteen kanssa [1].

AEB-järjestelmät ovat myös erittäin tärkeä vaihe autonomisten autojen kehityksessä. Tulevaisuudessa AEB on vain osa järjestelmää, joka ohjaa autonomisen auton toimintaa. ABS-jarrujen kehityskulku on ollut samanlainen: kehityksen myötä ABS sulautunut osaksi ESC-järjestelmää.

Tekniikan Maailma (TM) aloitti AEB-järjestelmien testauksen jo vuoden 2017 Talviteissä peräänajoa simuloivalla ajotilanteella. Pysähtyneen auton sijaan käytettiin auton perää muistuttavaa myötäävää estettä. Näiden ensimmäisten AEB-testien perusteella todettiin, että järjestelmien toiminnassa on valmistajakohtaisesti paljon eroavaisuuksia. Siksi niiden testaaminen autojen koeajojen ja vertailujen yhteydessä todettiin tarpeelliseksi. Vuoden 2017 syksyllä tehtyjen testien (kuva 1) jälkeen päädyttiin siihen, että jatkoa varten kehitetään erillinen AEB-järjestelmien testi- ja arviointimenetelmä.



Kuva 1. Mercedes-Benz GLC AEB-testissä [2].

Tämän insinööriyön tavoitteena on luoda TM:lle todellisiin liikenteen vaaratilanteisiin perustuva, vertailukelpoisia tuloksia tuottava AEB-järjestelmien testi- ja arviointimenetelmä. Menetelmän on oltava kustannustehokas ja helppokäyttöinen. Testiä ja arviointikriteereitä on myös voitava päivittää järjestelmien kehittyessä entistä monipuolisemmiksi. Työssä sivutaan testeissä tarvittavien törmäysesteiden suunnittelua ja valmistusta. Työn ulkopuolelle rajataan muiden aktiivisten turvajärjestelmien, kuten kaistavahtien arviointi. Lisäksi AEB-järjestelmien testaaminen rajataan koskemaan pysähtymistä kahteen esteeseen kuten autoon ja jalankulkijaan.

Testaus- ja arviointimenetelmän pohjana käytetään UNECEn (United Nations Economic Commission for Europe), Euro NCAP:n, IIHS:n (Insurance Institute for Highway Safety) sekä NHTSAn (National Highway Traffic Safety Administration) olemassa olevia testimenetelmiä. Tavoitteena on kuitenkin luoda testiin todenmukaisemmat olosuhteet kuin virallisissa testeissä. Testimenetelmän kehitystyössä otetaan huomioon Suomessa tapahtuneiden liikenneonnettomuuksien tietoja sekä AEB-järjestelmien teknisiä rajoitteita. Työssä käytettävä aineisto on hankittu edellä mainittujen järjestöjen verkkosivuilta, autojen maahantuojilta sekä haastattelemalla autoalan asiantuntijoita.

Työ alkaa teoreettisella osuudella, jossa esitellään AEB:n toimintaperiaate, järjestelmissä käytettävät anturitekniikat sekä toimintaa rajoittavat tekijät. Sen lisäksi teoriaosuudessa käydään läpi edellä mainittujen järjestöjen viralliset testimenetelmät. Näiden jälkeen tarkastellaan liikenneonnettomuuksien tietoja ja siirrytään käytännön suunnittelu- vaiheeseen. Siinä perehdytään testimenetelmän kehittämiseen sekä sivutaan törmäysesteiden kehitystyötä.

Suunnitteluvaihetta seuraa käytännön testit, joiden jälkeen suoritetaan tarvittavat parannukset testimenetelmään ja päätetään arviointikriteerit. Lopuksi tarkastellaan testaamisesta koituvia kustannuksia, pohditaan tulevaisuudessa tapahtuvaa kehitystä sekä arvioidaan työn tuloksia.

Työn tilaaja Tekniikan Maailma on ajoneuvoja ja tekniikkaa testaava yleistajuinen aikakauslehti, joka on perustettu vuonna 1953. Lehden päätoimittaja on Reijo Ruokanen. Nykyään TM on osa Otavamedia-konsernia. Lehden toimitus sijaitsee Helsingin Pasilassa, missä sijaitsee myös lehden oma autolaboratorio.

## 2 Automaattinen hätäjarrutusjärjestelmä

Nykyaikainen AEB-järjestelmä on yksi monista kuljettajaa tukevista järjestelmistä, joiden yleisnimitys on ADAS (Advanced Driver Assistance Systems). Nämä järjestelmät tarkkailevat eri anturien avulla auton ympäristöä ja pyrkivät varoittamaan lähestyvistä vaarasta sekä estämään esimerkiksi törmäyksen tai tieltä suistumisen. Tulevaisuuden automisissa autoissa nämä osajärjestelmät ovat sulautuneet yhdeksi laajaksi kokonaisuudeksi, joka ohjaa auton toimintaa.

AEB-järjestelmässä on sekä automaattinen hätäjarrutustoiminto että kuljettajan varoitus-toiminto, josta käytetään myös nimityksiä FCW (Forward Collision Warning) ja AEB-varoitusta. AEB:n toiminnan peruseriaate on seuraava: Kun auton anturit tai kamerat (kuva 2) havaitsevat törmäyksen esimerkiksi edellä kulkevaan autoon tai jalankulkijaan uhkaavan, varoitetaan kuljettajaa audiovisuaalisesti ja mahdollisesti myös haptisesti. Jos kuljettaja ei reagoi tilanteeseen, jarruttaa auto itsenäisesti välttääkseen onnettomuuden kokonaan tai pienentääkseen sen seurauksia.



Kuva 2. Toyota Yariksen AEB-järjestelmän tunnistimet, jotka sijaitsevat suojassa tuulilasin takana [3].



Seuraavissa alaluvuissa on AEB-järjestelmiin liittyvää teoriaa. AEB-järjestelmän toimintaperiaate esitellään tarkemmin käyttäen esimerkkinä Volvon järjestelmää. Se on TM:n kesäolosuhteissa tekemissä AEB-testeissä toiminut erinomaisesti. Uusimman sukupolven Volvo XC60 pysähtyi jopa nopeudesta 75 km/h, joka on 15 km/h suurempi nopeus kuin muilla hyvin suoriutuneilla autoilla. Järjestelmä on sama myös muissa SPA-perusrakennetta (Scalable Product Architecture) käyttävissä Volvoissa, kuten XC90:ssä, jonka järjestelmään perehdytään seuraavaksi.

Sekä testin että törmäysesteiden suunnittelun kannalta on tärkeää tuntea AEB:n toimintaperiaatteen lisäksi hyödynnettävien tunnistintekniikoiden perusteet sekä niiden vahvuudet ja heikkoudet. Näiden lisäksi luvussa esitellään järjestelmien toimintaa rajoittavia tekijöitä.

## 2.1 City Safetyn toimintaperiaate

Tässä luvussa esitetyt tiedot ja kuvat ovat peräisin Volvo Vida -korjaamo-ohjelmasta [4], ellei toisin ole mainittu.

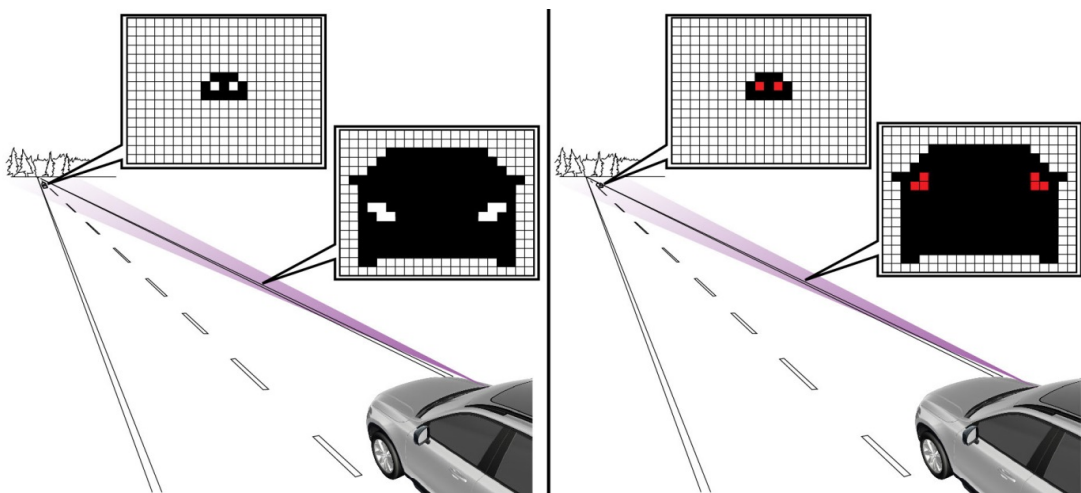
Volvon AEB-järjestelmän kauppanimi on City Safety. XC90:ssä sen toiminnot ovat törmäysvaroitusta automaattisella hätäjarrutuksella, jalankulkijoiden ja pyöräilijöiden tunnistus sekä risteysajon avustin ja suurten eläinten tunnistus. Kolme ensiksi mainittua tunnistavat uhkaavat tilanteet ajoneuvojen ja kevyen liikenteen kanssa. Neljänneksi mainittu jarruttaa tilanteissa, jossa risteysajossa on vaarana kääntyä vastaan tulevan auton eteen. Viimeiseksi mainittu tunnistaa suuret eläimet, kuten hirvet, mutta muista toiminnoista poiketen hätäjarrutus aktivoituu vain osittaisella jarruvoimalla. AEB tai törmäysvaroitusta eivät ole kytkettävissä pois päältä, mutta törmäysvaroituksessa on kolme asetusta: myöhäinen, normaali sekä aikainen.

City Safetyn kolme pääkomponenttia ovat

- ASDM (Active Safety Domain Master) eli aktiivisen turvallisuuden ohjainlaite
- monokamera
- tutka.

ASDM arvioi törmäysvaaran suuruuden kameralta ja tutkalta saamiensa tietojen sekä auton nopeuden ja kiertymiskulman avulla erilaisissa ajotilanteissa. Varoitus- ja jarrutus-toimintojen aktivointia varten ASDM laskee törmäyshetken ajankohdan ja on yhteydessä useisiin muihin ohjainlaitteisiin Flexray- sekä kahden CAN-väylän (Controller Area Network) välityksellä. ASDM sijaitsee tuulilasin sisäpuolella taustapeilin takana. Sekä kamera että tutka on integroitu siihen. Kotelossa on myös jäähdytystuuletin. Sijoituspaikan ansiosta molempien anturien näkökenttä puhdistuu tuulilasinpyyhkijöillä, ja lisäksi kameralle on lämmityselementti.

Kameraa käytetään ajoneuvojen ja jalankulkijoiden tunnistukseen, ja sen näkökenttä on vaakatasossa  $52^\circ$ . Kameran erottelukyky on  $1280 \times 960$  pikseliä, ja se toimii myös pimeässä. Kohteiden tunnistaminen perustuu kameran kuvan ja ASDM:n muistiin tallennetun kohdemallin vertaamiseen. Todennäköisyyslaskennan avulla myös osittaisia kohteita voidaan tunnistaa. Jos yhtäläisyyttä ei tunnisteta tai kohde ei ole riittävän selkeä, ei tunnistus onnistu. Jos kohde tunnistetaan, voidaan peräkkäisissä kuvissa tietyssä ajassa tapahtuvia pikselimäärän muutoksia verrata ympäristöön (kuva 3). Näiden tietojen sekä ajonopeuden avulla voidaan laskea kohteen etäisyys, nopeus ja suunta. Tunnistus voi tapahtua jopa tutkaa etäämmältä. Hyvissä valaistusolosuhteissa kohteet tunnistetaan hahmon tai ulkonäön perusteella, mutta pimeällä käytetään tunnistusta, joka perustuu valaistuun kohtaan ja sen muutoksiin. Ajoneuvo tunnistetaan pimeällä kahden valaistun pisteen etäisyyden avulla. Myös yksi piste voi riittää. Ehtona on, että etäisyys muuttuu ympäristöstä poiketen. Kamera tunnistaa punaiset kohdat, kuten auton takavalot helpommin erityisen suotimen ansiosta.

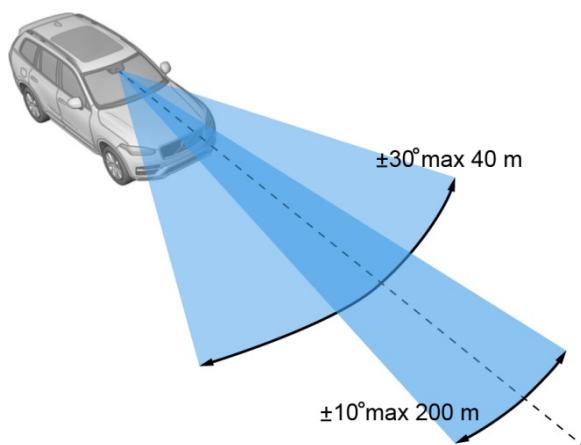


Kuva 3. Tunnistetun kohteen etäisyyden vaikutus muodostuvan kuvan pikselimäärään [4].

Rajoituksia kameran toiminnalle aiheuttavat muun muassa seuraavat tekijät:

- sumu, vesi- tai lumisade
- voimakas vastavallo
- heijastumat ajoradasta
- epäselvät, peittyneet tai likaiset ajoratamerkinnot
- vaurioitunut tuulilasi.

Tutka toimii 76 GHz:n taajuudella, ja se mittaa kahdella eri keilalla (kuva 4). Molemmat keilat sisältävät kaksi lähetys- ja kuusi vastaanottoantennia. Lähetettävä signaali on vaiheohjattua, jolla simuloidaan keila-alueen pyyhkäisyä. Kapeamman ja pidemmän keilan avulla tunnistetaan ajoneuvot ja pyöräilijät, ja leveämmän mutta lyhyemmän avulla jalankulkijat. Ihminen näkyy tutkalle nesteinä, sillä aikuinen ihminen koostuu noin 58-prosenttisesti vedestä [5]. Lisäksi tutkan avulla mitataan etäisyyksiä tunnistettuihin kohteisiin ja voidaan laskea niiden suhteellinen etenemisnopeus ja kulma.



Kuva 4. Volvo XC90:n tutkan keilat ja niiden kantamat [4].

Sääolosuhteet eivät aiheuta rajoituksia tutkan toiminnalle [6]. Sen sijaan sijainti tuulilasin takana aiheuttaa vaatimuksia auton tuulilasille. Lasin on oltava ehjä ja oikean tyyppinen. Myös tuulilasinpyyhkijöiden on oltava Volvon hyväksymät. Taustapeilin alla olevaa aluetta ei saa peittää eikä siihen saa kiinnittää esimerkiksi navigaattoria, sillä se on osa tutkan signaalin kulkureittiä. Lisäksi konepellin reunan ylittävät lisävarusteet, kuten lisävalot voivat haitata toimintaa. [7, s. 343–345.]

Kohteiden tunnistuksessa toinen antureista tekee kohteen ensisijaisen tunnistuksen ja toinen anturi vahvistaa sen. Kuvasta 5 ilmenee anturien käyttö eri kohteita tunnistettaessa.

				
	Vehicles	Pedestrian Detection	Cyclist Detection	Large Animal Detection
<b>Pääanturi</b>	Tutka	Kamera	Kamera	Kamera
<b>Vahvistusanturi</b>	Kamera	Tutka	Tutka	Tutka

Kuva 5. City Safetyn käyttämät anturit eri kohteiden tunnistukseen [8, s. 10].

AEB:n toiminta voidaan jakaa kolmeen vaiheeseen. Vaiheessa yksi ASDM havaitsee edellä mainittujen anturien avulla törmäyksen uhkaavan, ja audiovisuaalinen törmäysvaroitusta alkaa 1,5–3,0 sekuntia ennen laskettua törmäyshetkeä. Varoituksen aikana kuuluu äänimerkki sekä tuulilasiin heijastetaan varustetasosta riippuen vilkkuva punainen varoitusvalo tai auton kuva. Toisessa vaiheessa 1,2–1,5 sekuntia ennen törmäystä kuljettajaa varoitetaan haptisesti sykäyksittäisellä jarrutuksella. Hätäjarrutehostin on valmiudessa tukemaan kuljettajan mahdollista jarrutusta. Lisäksi aloitetaan osittainen jarrutus, jolla jarrujärjestelmä valmistellaan täyteen hätäjarrutukseen. Jos kuljettaja ei reagoi ja törmäys uhkaa edelleen, aloitetaan kolmannessa vaiheessa hätäjarrutus täydellä jarruvoimalla 0,7–1,0 sekuntia ennen laskettua törmäystä. Samalla aktivoidaan sähkötoimisesti esikiristyvät turvavyöt (kun nopeus on yli 30 km/h) ja maksimoidaan jarrujärjestelmän hydraulikkayksikön saama jännite nostamalla latausjärjestelmän tuotto maksimiin ja kytkemällä ylimääräiset sähkölaitteet, kuten istuinlämmittimet pois päältä. Iskunvaimennus säädetään jäykäksi jarrutusmatkan lyhentämiseksi. Infonäyttöön tulee viesti, joka kertoo AEB:n aktivoituneen. Pysähtymisen jälkeen jarrut pysyvät päällä, kunnes kuljettaja päättää lähteä liikkeelle.

Törmäys toiseen ajoneuvoon voidaan välttää nopeuteen 60 km/h asti. Törmäys jalankuljijaan voidaan välttää jopa nopeudesta 45 km/h. Törmäys pyöräilijään on mahdollista välttää, jos suhteellinen nopeus on enintään 50 km/h. Suuremmissa nopeuksissa törmäysnopeutta alennetaan, jotta törmäyksen seuraukset pienenisivät. [9, s. 4.]

## 2.2 Muut hyödynnettävät teknologiat

Yleisesti ottaen AEB-järjestelmän suorituskykyyn vaikuttaa käytettävien anturien ominaisuudet sekä niiden tuottamien tietojen yhdistäminen. Mitä monipuolisemmat anturit, sitä parempi mahdollisuus on anturien tuottamaa dataa yhdistämällä tunnistaa monimutkaisia vaaratilanteita. [10, s. 8.] Lisäksi voidaan tehdä loogisuustarkasteluja vertaamalla eri anturien tekemiä havaintoja kohteista [11, s. 5].

Jotta järjestelmä toimisi luotettavasti erilaisissa ajo-olosuhteissa, on järkevää käyttää useampaa eri anturitekniikkaa, sillä jokaisella anturitekniikalla on omat heikkoutensa ja vahvuutensa [12]. Niitä yhdistelemällä varmistetaan toiminta mahdollisimman monissa tilanteissa. Taulukosta 1 voidaan havaita, että yhdistämällä monokamera- ja tutkatekniikka Volvon tapaan, voidaan saavuttaa erinomainen havainnointikyky ilman suuria heikkouksia. Kamera ja tutka siis täydentävät toisiaan.


Taulukko 1. Havainnointikyky pelkällä kameralla tai tutkalla sekä niiden yhdistelmällä [12].

Perception	Camera	Radar	Fusion
Distance	●	●	●
Angle	●	●	●
Velocity (Radial)	●	●	●
Velocity (Lateral)	●	●	●
Boundary	●	●	●
Obstacle	●	●	●
Classification	●	●	●
Weather/Lighting/Dirt	●	●	●

● Excellent

● Fair

● Limited

 TEXAS INSTRUMENTS

Taulukosta voidaan havaita, että esimerkiksi ajosuuntaan nähden poikittain tapahtuvan liikkeen nopeutta voidaan havainnoida kameralla keskinkertaisesti ja tutkalla vain rajoitetusti. Tekniikoiden yhdistelmällä havainnointi onnistuu kuitenkin erinomaisesti. Eräs esimerkkitalanne, jossa tietojen yhdistelystä hyödytään, on kahden lähekkäin olevan kohteen erottaminen. Jos jalankulkija ja auto ovat vierekkäin, tutka ei pysty havaitsemaan jalankulkijaa, koska auton tuottama heijaste on paljon voimakkaampi. Kamera sen sijaan pystyy erottamaan kohteet ja esimerkiksi niiden leveyden. Kamera ei puolestaan pysty

mittaamaan etäisyyttä kohteeseen kunnolla toisin kuin tutka. Huonot sääolosuhteet, kuten esimerkiksi sade, vaikuttavat kameran toimintaan merkittävästi. Tällöin tutka kuitenkin toimii hyvin, kunhan sen pintaan ei kerry vesikalvoa, joka voi estää sen toiminnan [13, s. 17]. Volvo on ratkaissut ongelman sijoittamalla tutkan tuulilasille pyyhkijöiden pyyhkimälle alueelle.

Monokamera on siis tutkaa parempi tunnistamaan ja erottelemaan kohteita. Huonojen sääolosuhteiden lisäksi toimintaa rajoittaa lyhyehkö toiminta-alue. Ajoneuvot tunnistetaan korkeintaan noin 60 metrin ja jalankulkijat noin 35 metrin päästä [13, s. 26].

Volvon City Safety -järjestelmässä hyödynnetään monokameran lisäksi 76 GHz:n taajuudella toimivaa tutkaa. Tutkia on erilaisia. Lyhyen kantaman tutka toimii 24 GHz:n taajuudella ja sen keila on pituudeltaan 20–50 metriä ja leveydeltään enintään 160°. Pitkän kantaman, 77 GHz:n taajuudella toimivan tutkan keilan vastaavat mitat ovat jopa 250 metriä ja 30°. Niin sanottu keskialueen tutka toimii 76–81 GHz:n taajuudella ja keila sijoittuu edellä mainittujen väliin. [14, s. 1355.]

Suuremman taajuuden käytöllä saavutetaan monia etuja. Nykyään 24 GHz:n taajuudella voidaan pyyhkäisyssä hyödyntää vain 200 MHz:n levyistä taajuuskaistaa. Sen sijaan 77 GHz:n taajuusalueella sallitaan 4 GHz:n levyinen pyyhkäisy. Tämä parantaa viimeksi mainitun tutkan resoluutiota ja etäisyysmittauksen tarkkuutta jopa 20-kertaiseksi. Lisäksi vierekkäin olevien kohteiden erottelu helpottuu. 24 GHz:n tutka erottaa kohteet, jos niiden välillä on vähintään 75 cm, mutta 77 GHz:n tutkalle riittää neljän cm:n välimatka. Lisäksi aallonpituuden lyhentyminen parantaa kohteen suhteellisen nopeuden mittauksen tarkkuutta kolminkertaiseksi. 77 GHz:n tutka voidaan myös rakentaa pienemmäksi. [15.] Pieni koko on oleellista nykyaikaisen auton pakkaussuunnittelussa.

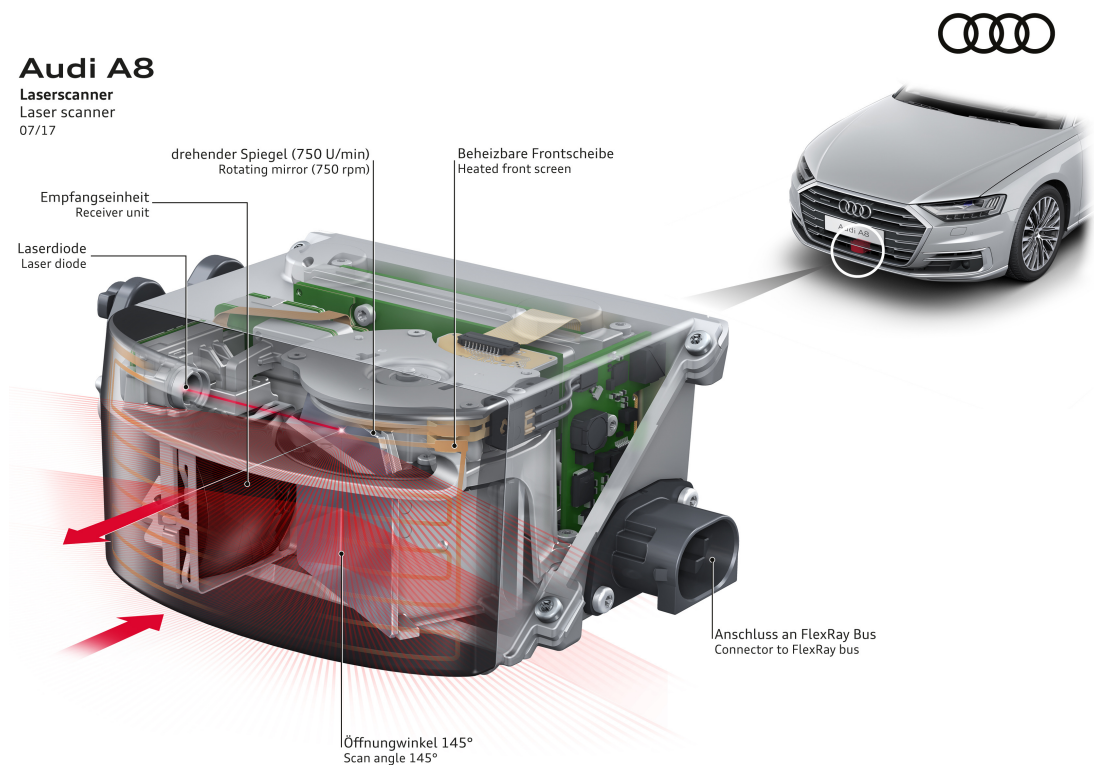
Monokameran ja tutkien lisäksi muita käytössä olevia anturiteknologioita AEB-järjestelmissä ovat stereokamera sekä LIDARin (Light Detection and Ranging) erilaiset kehitysversiot.

Stereokameran suurin etu monokameraan nähden on kahden kameran mahdollistama etäisyyksien hahmottaminen. Ilmiö on vastaava myös ihmisen näössä: kaksi silmää mahdollistaa syvyysnäön. Syvyysnäön avulla kohteiden ja niiden sijainnin hahmotus paranee. Lisäksi kamerat voivat olla ominaisuuksiltaan erilaisia, jolloin esimerkiksi toisen kuvakulma ja toimintaetäisyys voi olla laajempi [6]. Kahdella kameralla myös

loogisuustarkastelut ovat mahdollisia. Stereokameralla kohteiden tunnistus on lisäksi varmempaa [13].

LIDARin toimintaa häiritsee merkittävästi sumu tai esimerkiksi lumisade, sillä toiminta perustuu valopulsseihin. LIDAR-lähetin lähettää 800–1000 nanometrin infrapunalaseria, joka heijastuu kohteesta ja tunnistetaan vastaanottimessa. Kantama on tyypillisesti 150–250 metriä. Kohteen etäisyys saadaan mittaamalla valopulssin kulkuun kuluva aika. Staattisessa LIDAR-tunnistimessa on yleensä yksi tai muutama kiinteä keila. [14, s. 1356–1358; 16.] Esimerkiksi Mazda CX-5:n staattisen LIDAR-tunnistimen keila on vaakatasossa 28° ja pystyssä 12° [17, s. 4-203].

Uusin, 4N-sukupolven Audi A8 hyödyntää etualan tunnistuksessa kameran ja tutkan lisäksi skannaavaa LIDARIA [18]. Tunnistimen rakenne ilmenee kuvasta 6. Mittauksen toimintaperiaate on sama kuin staattisessa LIDAR-tunnistimessa, mutta pyörivän peilin avulla yksittäisiä lasersäteitä saadaan lähetettyä paljon laajemmalle alueelle, jolloin tunnistimen resoluutio paranee huomattavasti. [19, s. 2; 14, s. 1356.] A8:n laserskannerin keila on tämän ansiosta 145° ja kantama 80 metriä. Tämän tekniikan avulla kyetään tunnistamaan tarkasti sekä ajoneuvot että jalankulkijat. [19, s. 79.]



Kuva 6. Audi A8:n skannaavan LIDAR-tunnistimen rakenne [18].

PMD-tunnistin (Photonic Mixer Device) hyödyntää myös LIDARia. Sen tuottama kuva muistuttaa kameran kuvaa, mutta se voi mitata kohteen etäisyyden jokaisella pikselillä erikseen. Tekniikkaan liittyy toistaiseksi ongelmia, mutta tulevaisuudessa se voi muodostua tärkeäksi lyhyt- ja keskialueen tunnistintekniikaksi. [14, s. 1358.]

### 2.3 Toiminnan rajoitteet

AEB-järjestelmille on olemassa automerkki- ja mallikohtainen listaus toimintaa rajoittavista tekijöistä, joiden vuoksi järjestelmä ei välttämättä aktivoidu. Rajoitteet on listattu auton ohjekirjassa. Onnettomuustietoinsituutti OTIn kokemusten mukaan nämä rajoitteet eivät ole pelkkiä vastuuvapauslausekkeita, vaan todellisia tilanteita, joissa järjestelmät eivät toimi [20]. Jotta rajoitteista saatiin riittävän laaja käsitys, käytiin läpi 20 auton ohjekirjat. Mukana oli 16 eri automerkkiä. Nämä merkit edustavat 87 %:a vuonna 2017 Suomessa myydyistä uusista autoista [21]. Listaustaulukko, joiden ohjekirjat tarkastettiin, löytyy liitteestä 1. Seuraavassa on lueteltu esimerkin vuoksi Volvo XC90:n AEB-järjestelmän rajoitteet sekä muiden autojen rajoitteet, jotka ovat testimenetelmän kannalta merkittäviä.

Näiden toimintaa rajoittavien tekijöiden lisäksi on mahdollista, että järjestelmä tekee virhetunnistuksia eli toimii virheellisissä tilanteissa. Esimerkiksi Toyota C-HR:n PCS-järjestelmän (Pre-Collision System) virheellisen aktivoitumisen aiheuttavia tilanteita on lueteltu yli 20 erilaista [22, s. 4–5]. Testitilanteiden rajaamiseksi järjestelmien virhetoimintoja ei aiota testata, vaan testaamisessa keskitytään arvioimaan toimintaa todellisissa hätätilanteissa.

#### 2.3.1 Volvon City Safetyn rajoitteet

City Safety ei pysty estämään onnettomuutta kaikissa olosuhteissa. Esimerkiksi liukas tienpinta pidentää jarrutusmatkaa. Virhetoimintojen välttämiseksi järjestelmä aloittaa jarrutuksen vasta, kun törmäyksen välttäminen väistöliikkeellä muuttuu mahdottomaksi. Kuljettajan tietoinen toiminta ohittaa järjestelmän, ja esimerkiksi voimakkaassa kiihdytyksessä hätäjarrutus ei aktivoidu.



Auton nopeuden on ylitettävä 4 km/h, jotta City Safety toimii. Peruutettaessa järjestelmä ei ole aktiivinen. Nopeuksilla, jotka ovat suurempia kuin 80 km/h, jalankulkijoiden ja pyöräilijöiden havaitsemistoiminto kytkeytyy pois käytöstä.

Järjestelmä voi tunnistaa hyvin monenlaisia ajoneuvoja, kuten autoja, moottoripyöriä, busseja ja kuorma-autoja sekä erilaisia hinattavia laitteita. Niiden on kuitenkin oltava auton edessä, koska anturit tarkkailevat vain auton etualaa. Matala perävaunu voi jäädä havaitsematta, jos se on tutkan katvealueella. Moottoripyörät ja muut erityisesti kaistan reunassa kulkevat pienet ajoneuvot voivat jäädä huomaamatta etenkin pimeällä. Likaiset ajoneuvot havaitaan myöhemmin kuin puhtaat. Jotta ajoneuvo voidaan havaita pimeällä, on sen etu- ja takavalojen toimittava ja valaistava selkeästi.

Lisäksi ajoneuvojen on oltava joko paikallaan tai kuljettava samaan suuntaan. Eri suuntaan kulkevia autoja ei tunnisteta, ellei kyse ole risteysajasta. Ajoneuvon tunnistus voi tapahtua myöhään, jos auto tulee äkillisesti eteen esimerkiksi ohituskaistalta. Kaarteissa voidaan havaita väärä ajoneuvo ja edellä kulkeva ajoneuvo voi kadota anturien näkökentästä. Pimeys tai huono näkyvyys voi aiheuttaa paikoillaan olevien tai hitaasti kulkevien ajoneuvojen ja suurten eläimien varoituksen poiskyttymisen.

Myös jalankulkija- ja polkupyöräilijätunnistuksen toimimiseksi on kohteen oltava suoraan auton edessä joko paikoillaan, ylittämässä ajolinjaa tai pyöräilemässä ajolinjan suuntaisesti autoa kohti tai poispäin. Jalankulkijan on oltava yli 80 cm pitkä. Polkupyörän on oltava kaksipyöräinen aikuisten malli. Osittain piilossa olevia jalankulkijoita tai pyöräilijöitä ei voida havaita. Havaitseminen ei myöskään onnistu, jos kontrasti taustaan nähden on huono, jos jalankulkijan tai pyöräilijän vaatteet peittävät kehon ääriviivat tai jos jalankulkijalla tai pyöräilijällä on kuormana suuria esineitä.

### 2.3.2 Muiden valmistajien järjestelmien rajoitteet

Useilla automerkeillä perusvaatimus AEB-järjestelmän toiminnalle on, että ASR- ja ESC-järjestelmät ovat kytkettynä päälle. Lisäksi niiden on oltava normaalissa tilassa, sillä sport-tilassa AEB ei välttämättä ole aktiivinen. Toinen perusvaatimus on, että matkustajien turvavyöt ovat kiinnitettyinä. Myös vaihde on oltava kytkettynä. Peruutusvaihteella järjestelmät eivät toimi.

Kuljettajan aktiivinen toiminta estää tai keskeyttää AEB:n toiminnan. Esimerkiksi voimakas kaasus-, jarru- tai kytkinpolkimen painallus, vaihteenvalitsimen tai suuntamerkin käyttö tai voimakas ohjausliike voivat ohittaa järjestelmän.

Useimmissa toiminta alkaa nopeuksista 4–10 km/h, ja monissa paikoillaan oleva auto havaitaan korkeintaan nopeudessa 80 km/h. Jalankulkijoiden tapauksessa suurin toimintanopeus on yleensä 60–65 km/h. Joissain autoissa jarrutusta edeltävää ennakkovaroitusta ei tule esimerkiksi nopeuksissa, jotka ovat alle 30–50 km/h.

Muutaman auton ohjekirjassa mainittiin, että AEB ei välttämättä toimi normaalisti suurilla aukioilla heti auton käynnistyksen jälkeen, jos tutka-anturi ei havaitse tarpeeksi kohteita. Joissain autoissa AEB:n peräkkäiset aktivoitumiset voivat sytyttää vikavalon. Lisäksi muutamat valmistajat ilmoittivat, että käynnistyksen jälkeen järjestelmä on toimintakykyinen vasta 10–30 sekunnin viiveen jälkeen. Osassa autoja AEB-jarrutuksen jälkeen jarrut jäävät päälle pitäen auton paikallaan ja osassa ei.

Jalankulkijoiden ja pyöräilijöiden havaitsemiseen liittyy useita rajoitteita. Jalankulkijan on yleisesti oltava yli 80 cm pitkä, liikuttava pystyasennossa sekä oltava kokonaan näkyvissä, jotta tunnistus onnistuu. Esimerkiksi kumarassa kulkevaa, vetolaukkua vetävää jalankulkijaa ei välttämättä tunnisteta. Myös pyörätuolit ja muut liikkumisvälineet sekä ostoskärryt, lastenrattaat, suuret kantamukset tai sateenvarjo voivat estää tunnistuksen. Jalankulkija ei myöskään saa liikkua liian suurella nopeudella tai olla osana ryhmää. Lisäksi jalankulkijan vieressä olevat isot rakenteet, seinät tai autot voivat häiritä tunnistusta.

Kamerapohjaisissa järjestelmissä kirkas auringonvalo ja ympäristön pimeys haittaavat toimintaa. Yhden auton ohjekirjassa mainittiin, että pimeällä esimerkiksi jalankulkijoiden tunnistus saattaa onnistua, jos auton ajovalot valaisevat heitä. Oleellista on myös, että jalankulkijan vaatetus ei saa peittää henkilön ääriviivoja tai sulautua ympäristön värimaailmaan. Polkupyöräilijätunnistuksessa ääriviivat ovat myös oleellisia. Tutkituista autoista yhdessä vaadittiin tunnistuksen onnistumiseksi punainen, vähintään 70 cm:n korkeuteen sijoitettu takaheijastin.

### 3 Viralliset AEB-testit

Uutta testimenetelmää kehittäessä päätettiin ensiksi perehtyä jo olemassa oleviin testeihin. Tätä työtä tehdessä henkilöautojen (ajoneuvoluokka M1) AEB-järjestelmille ei ole olemassa UNECEn lakivaatimuksia. Niitä valmistellaan parhaillaan, mutta valmistumisajankohdasta ei ole varmaa tietoa [23]. Sen sijaan raskaan kaluston (ajoneuvoluokat M2, M3, N2, N3) AEB-järjestelmille on olemassa UNECEn vaatimukset. Ne ovat UNECEn säännöksen 131 liitteessä 130. Uusin versio (versio 1) on julkaistu 27.2.2014. [24.] Seuraavassa on tiivistelmä näistä raskaan kaluston AEB-järjestelmien vaatimuksista sekä tyyppihyväksyntätestien ohjeesta. Vaatimukset koskevat kaikkia raskaan kaluston luokkia, mutta tyyppihyväksyntätestin esimerkki koskee hydraulisella käyttöjarrulla varustettua N2-luokan ajoneuvoa, jonka massa on alle kahdeksan tonnia. Tämä rajausta tehtiin siksi, että N2 on raskaan kaluston ajoneuvoista tekniikaltaan lähimpänä henkilöautoa (kuva 7). Niissä on usein esimerkiksi hydrauliset jarrut.



Kuva 7. Luokan N2 Mercedes-Benz Sprinter [25].

Tämän jälkeen on esitelty Euro NCAP:n henkilöautoille suunniteltu AEB-järjestelmien testimenetelmä yksityiskohtaisesti, sillä menetelmä käsittää monipuoliset testit AEB-järjestelmille. Järjestön tekemiin testeihin kuuluu tällä hetkellä kolme AEB-järjestelmiin liittyvää osatestiä. AEB Inter Urban simuloi ajotilanteita maantieajossa ja AEB City pienempien nopeuksien ajotilanteita kaupungissa. AEB VRU (Vulnerable Road Users) testaa puolestaan kevyen liikenteen eli sekä jalankulkijoiden että pyöräilijöiden tunnistusta

erilaisissa ajotilanteissa. Viimeiseksi on esitelty yhdysvaltalaisen IIHS:n sekä NHTSAn henkilöautoille suorittamat AEB-testit.

Volvolta tiedusteltiin tarkempia tietoja heidän käyttämistään AEB-testeistä. Varsinaisiin testiprotokollisiin ei ollut mahdollista tutustua, mutta valmistajan mukaan ne ovat hyvin lähellä virallisia testejä. Volvolta kerrottiin myös, että testausta tehdään paljon tietokonesimulaationa. Niiden tulokset vahvistetaan tekemällä testit myös oikeilla autoilla. Lisäksi AEB-järjestelmille on opetettu kohteiden tunnistusta ajamalla kaupunkiliikenteessä. Arvokas tiedonlähde Volvolle on heidän tekemä tutkinta todellisissa liikenneonnettomuuksissa. Tarvittaessa onnettomuudet voidaan rekonstruoida uudelleen tietokonesimulaatiossa tai laboratoriossa. [26.]

### 3.1 UNECEn lakivaatimukset raskaan kaluston AEB-järjestelmille

Lakivaatimuksissa korostetaan, että AEB ei saa aktivoitua normaaleissa liikennetilanteissa. Sen saa aktivoitua vain tilanteissa, joissa se pystyy jarruttamalla estämään onnettomuuden tai vähentämään sen seurauksia. Koska tyyppihyväksyntätesteissä toimintaa kaikissa tilanteissa ei voida varmistaa, yksi vaatimuksista on, etteivät turhat varoitukset ja jarrutukset saa johtaa siihen, että kuljettaja kytkee järjestelmän pois käytöstä. Järjestelmän toimintaan ei saa haitallisesti vaikuttaa magneettiset tai sähkömagneettiset kentät.

Jos järjestelmään tulee vika tai se kytkeytyy pois käytöstä erittäin huonojen sääolosuhteiden vuoksi, on ajoneuvon edelleen toimittava turvallisesti. Tällaisesta tilanteesta on varoitettava kuljettajaa keltaisella, jatkuvasti palavalla merkkivalolla. Tämän vikavalon toiminnan muuttaminen yksinkertaisin keinoin on estettävä tai vikailmoitus on annettava kahdella eri tavalla, jotta esimerkiksi vikavalon polttimon poistaminen voidaan havaita.

Jos kuljettaja kytkee järjestelmän pois käytöstä, on siitä annettava optinen varoitus, joka voi olla edellä mainittu merkkivalo. Järjestelmän on kytkeydyttävä uudestaan toimintaan jokaisen käynnistyksen yhteydessä. Jos ajoneuvo käynnistetään avaimella, ei uudelleen aktivoimisen ehtona saa olla, että avain tarvitse poistaa virtalukosta.

Järjestelmän on aktiivisena ollessaan toimittava vähintään nopeudesta 15 km/h aina ajoneuvon huippunopeuteen asti kaikilla kuormilla. Sen on kuljettajan huomion

kiinnittämiseksi annettava törmäyksen uhatessa kaksi erityyppistä varoitusta seuraavista: akustinen, haptinen tai optinen. Haptinen varoitus voi olla esimerkiksi terävä jarrutus. Varoituksen on tultava sopivaan aikaan, jotta kuljettaja ehtii reagoida. Se ei kuitenkaan saa tulla liian aikaisin tai usein. Optinen varoitus voi olla vilkkuva poiskytkennän merkkivalo, mutta sen on oltava tarpeeksi näkyvä myös päivänvalossa. Kun hätäjarrutus on aktivoitunut, on kuljettajan voitava ohittaa toiminto esimerkiksi ohjaamalla tai painamalla kaasupoljin pohjaan.

Valmistajan on erikseen ilmoitettava tyyppihyväksynnän yhteydessä kuljettajan varoitustrategia sekä keinot, joilla kuljettaja voi ohittaa AEB:n toiminnan.

### 3.2 UNECEn AEB-tyyppihyväksyntätestit N2-luokan ajoneuvolle

Tyyppihyväksyntätesti on suoritettava kuivalla ja tasaisella asfaltti- tai betonipinnalla, jossa on hyvä kitka. Ympäristön lämpötilan on oltava välillä 0–45 °C. Esteen on oltava näkyvissä koko testin ajan. Tuuli ei saa vaikuttaa testin tulokseen. Ajoneuvon testimassa on sovittava etukäteen, eikä sitä saa muuttaa kesken testin.

Käytettävän törmäysesteen on oltava joko luokan M1 sarjatuotantoauto tai joustava testieste, joka tarjoaa oikeaa autoa vastaavat hahmon ja heijasteet testiajoneuvon AEB-järjestelmän antureille. Valmistajan on ilmoitettava keinot, joiden perusteella järjestelmä yksilöi ja tunnistaa edessä olevan esteen.

Testiin kuuluu viisi osaa, joista ensimmäinen on testi paikallaan olevaan esteeseen. Testiajoneuvolla lähestytään estettä siten, että ennen toiminnallisen testin alkua estettä kohti ajetaan vähintään kaksi sekuntia. Toiminnallinen testi alkaa, kun testiajoneuvon nopeus on 80 km/h  $\pm$  2 km/h ja etäisyys esteeseen vähintään 120 metriä. Kohtaamisen on tapahduttava linjassa, ja testiauton sekä esteen keskilinjojen etäisyys saa olla korkeintaan puoli metriä. Tämän osuuden aikana kuljettaja saa tehdä ainoastaan pieniä korjausliikkeitä ohjauspyörällä oikean ajolinjan säilyttämiseksi.

Viimeistään 0,8 sekuntia ennen hätäjarrutusta järjestelmän on varoitettava kuljettajaa yhdellä varoitustyyppillä. Valmistajan määrittämänä ajankohtana ennen hätäjarrutusta on järjestelmän annettava kaksi erityyppistä varoitusta. Jos varoitukseen kuuluu terävä

herätejarrutus, ei nopeus saa alentua yli 15 km/h tai 30 % lähtönopeudesta. Suurempi arvo on määräävä.

Törmäysvaroituksen jälkeen hätäjarrituksen on aktivoiduttava. Nopeuden aleneman on ennen törmäystä oltava minimissään 10 km/h. Hätäjarrutus ei saa aktivoitua yli 3 sekuntia ennen törmäyshetkeä.

Testin toisessa osassa este on liikkuva. Testi suoritetaan kuten edellä, mutta este liikkuu testiajoneuvon kanssa samassa linjassa samaan suuntaan. Liikkuvan esteen nopeus on  $67 \pm 2$  km/h. Kriteerit varoitukselle sekä hätäjarrituksen aikaisimmalle aktivoitumiselle ovat myös samat. Hätäjarrituksen on kyettävä estämään törmäys kokonaan.

Testin kolmannessa osassa testataan virhetilanteen tunnistamista. Siinä testiajoneuvolla ajetaan kahden vierekkäin, samaan tasoon pysäköidyn henkilöauton välistä. Ne sijaitsevat kulkusuunnassa pitkillä 4,5 metrin etäisyydellä toisistaan. Testiajoneuvolla lähestytään pysäköityjä autoja 60 metrin päästä nopeudella  $50 \pm 2$  km/h. Pysäköityjen autojen välistä ajaminen ei saa aktivoida törmäysvaroitusta tai hätäjarrutusta.

Neljännessä osassa simuloidaan sähkövika AEB-järjestelmän komponenttiin. Vikavalon on sytyttävä palamaan viimeistään, kun ajoneuvolla on ajettu kymmenen sekunnin ajan nopeudella yli 15 km/h. Vikavalon on sytyttävä myös uudelleenkäynnistyksen jälkeen.

Viidennessä testissä järjestelmä kytketään pois käytöstä ja tarkastetaan, että merkkivalo syttyy. Sitten ajoneuvo sammutetaan ja tarkastetaan, että uudelleenkäynnistyksessä valo sammuu merkiksi siitä, että järjestelmä on palannut aktiiviseksi. Jos ajoneuvo käynnistetään avaimella, ei uudelleen aktivoimisen ehtona saa olla, että avain tarvitse poistaa virtalukosta.

### 3.3 Yleistietoa Euro NCAP:n AEB-testeistä

Euro NCAP on asettanut AEB-testien olosuhteille hyvin tarkat vaatimukset, jotta esimerkiksi välttää järjestelmän virheellisiltä aktivoitumisilta, joihin viitattiin luvussa 2.3. Vaatimukset ovat seuraavat:

- Testialueen päällysteen on oltava tasainen (enintään yhden prosentin kallistus sallitaan) ja kitkakertoimen on oltava vähintään 0,9.
- Päällysteen on oltava kuiva ja yhtenäinen, eikä siinä saa olla poikkeamia, suuria painumia, halkeamia, viemärinkansia tai heijastimia alueella, johon testattava auto pysähtyy.
- Muita autoja, ihmisiä tai esineitä (pois lukien valotolpat pimeällä testatessa) ei saa olla testialueella, sillä ne voivat häiritä anturien toimintaa.
- Ajouradan yläpuolella ei saa olla esimerkiksi siltoja tai kylttejä.
- Jos testialueella on kaistaviivat, niiden on oltava normaalit.
- Sään on oltava sateeton, lämpötilan on oltava välillä 5–40 °C ja tuulen nopeuden alle 10 m/s. Jos tuulen nopeus on yli 5 m/s, kevyen liikenteen testeissä saatujen tulosten hyväksymiseen käytetään harkintaa.
- Valaistuksen on oltava tasainen ilman suuria varjoja, eikä ajosuunta saa olla suoraan kohti tai poispäin auringosta.

Lisäksi testialueen olosuhteita, kuten valaistusvoimakkuutta, radan ja ympäristön lämpötilaa sekä tuulen nopeutta ja suuntaa on tarkkailtava joka ajon jälkeen tai vähintään 30 minuutin välein.

Pimeällä tehtävien testien valaistuksesta on erillinen ohjeistus [27, s. 11]. Tarkoitus on mallintaa todellisia olosuhteita. Osassa testejä käytetään lähivaloja ja osassa kaukovaloja.

Euro NCAP:n ajoneuvoa simuloiva este eli Global Vehicle Target (GVT) (kuva 8) edustaa tyypillistä luokan M1 henkilöautoa. Este painaa liikutteluun tarvittavan alustan kanssa 108 kg [28]. Osuman myötä este hajoaa suunnitellusti palasiin sitoen energiaa. Rakenne ilmenee kuvasta 9. Este tuottaa oikeaa autoa vastaavat herätteet tutkalle (24 ja 77 GHz), LIDARille ja kameralle.

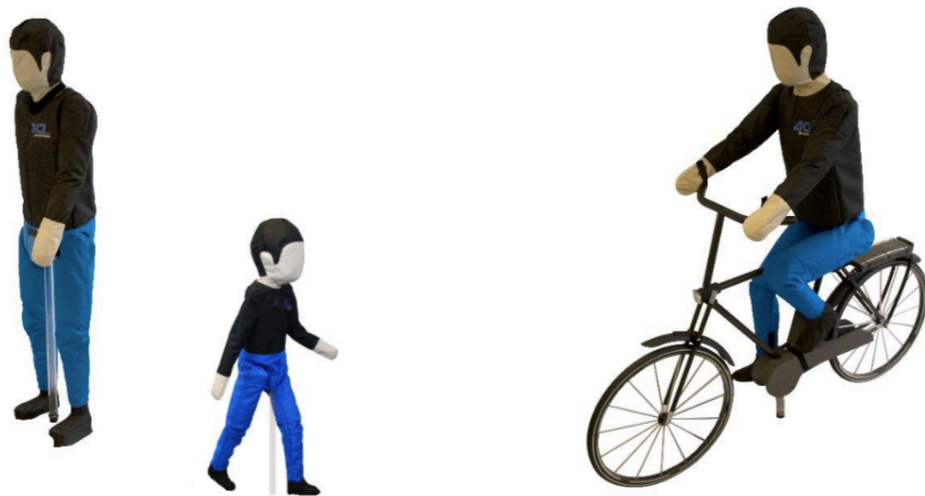


Kuva 8. Ajoneuvoa simuloiva pehmeä este eli GVT [29, s. 8].



Kuva 9. GVT:n sisäinen rakenne [30].

Kävelevää aikuista ja lasta sekä pyöräilevää aikuista simuloivat jalankulkijanuket (kuva 10) tuottavat oikeaa ihmistä vastaavat herätteet edellä mainittujen anturien lisäksi PMD-anturille. Aikuisnuken massa on enimmillään 7 kg [31]. Nukkeja valmistaa itävaltalainen 4activeSystems.



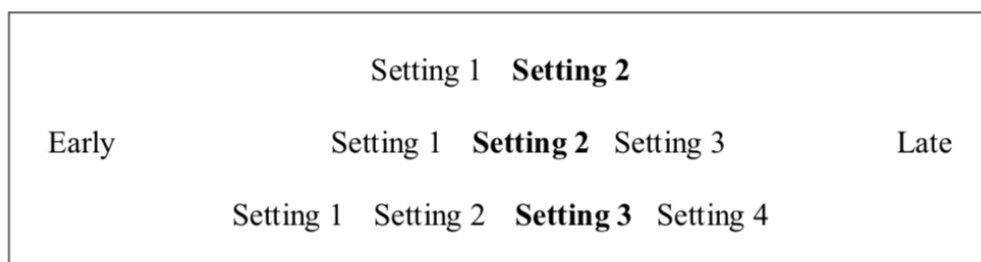
Kuva 10. VRU-testin nuket [27, s. 10].

AEB Inter Urban -testeissä tarvitaan kuljettajaa simuloiva jarrutusrobotti, jonka reaktioajaksi säädetään 1,2 sekuntia [29, s.19]. VRU-testeissä käytetään myös seinää ja autoja esteinä. Näiden tarkemmat tiedot, kuten tyypit, mitat ja värit on määritetty erikseen [27, s. 22]. Kaikissa testeissä tarvitaan erilaisia mittalaitteita, joiden vaatimukset on määritetty myös erikseen [29, s. 6–7].



Ennen Euro NCAP:n AEB-testejä suoritetaan testiajoneuvolle useita valmisteluita. Näihin kuuluvat testiajoneuvon polttoainesäiliön sekä muiden nestesäiliöiden täyttö, renkaiden ja rengaspaineiden tarkastus sekä pyöränkulmien säätö. Näiden tarkastusten jälkeen autoon asennetaan mittalaitteet sekä lisäpainot niin, että matkustamoon tulee lisämassaa yhteensä 200 kilogrammaa. Jos autossa on jalankulkijan turvatyyny tai ponnahdettava konepelti, ne on kytkettävä pois käytöstä ennen testiä. Lisäksi autonvalmistajan pyynnöstä voidaan suorittaa anturi- ja kamerajärjestelmälle sadan kilometrin mittainen kalibrointiajo normaalissa liikenteessä.

Ennen testin alkua asetetaan AEB- tai FCW-järjestelmän herkkyysasetus keskitasolle, toiseksi epäherkimmälle tai epäherkimmälle riippuen asetusten lukumäärästä (kuva 11). Jarrujen ja renkaiden lämmitys suoritetaan useassa eri vaiheessa tarkan ohjeistuksen mukaisesti ennen jokaista testiä. Näiden jälkeen testi on suoritettava tietyn ajan kuluessa.



Kuva 11. AEB-järjestelmästä valittava asetukset, joka näkyy tummennettuna [29, s. 12].

Ensimmäiset testit ajetaan järjestelmän pienimmällä oletetulla toimintanopeudella, jotta varmistutaan järjestelmän toiminnasta.

Testit ajetaan automaattivaihteiston D-asennolla tai manuaalivaihteisissa suurimmalla vaihteella, jolla moottorin kierrokset ovat testinopeudella vähintään 1500 1/min. Nopeudenrajoitinta tai vakionopeussäädintä saa käyttää, jos siinä ei ole adaptiivisia toimintoja. Ajon aikana vain pienet korjausliikkeet ohjauksessa ovat sallittuja. Lisäksi VRU-testeissä kaasupolkimen painaminen pitää lopettaa, kun ajoneuvon nopeus on hidastunut 5 km/h. Muihin hallintalaitteisiin, kuten esimerkiksi jarru- tai kytkinpolkimeen ei saa koskea.

Testi alkaa neljä sekuntia ennen laskettua törmäystä. Testi päättyy, kun testiajoneuvo pysähtyy tai sen nopeus on esteen kanssa yhtä suuri tai pienempi tai kun se osuu esteeseen. Kevyen liikenteen testeissä myös ajolinjan muuttuminen eli järjestelmän

suorittama väistö hyväksytään. Viimeksi mainituissa testeissä myös FCW:n toimittua vähintään 1,5 sekuntia ennen laskettua törmäyshetkeä katsotaan testi päättyneeksi. [27, s. 20–21.] Testi hyväksytään, jos nopeudet, ajolinjat, ynnä muut ovat toleranssien sisällä [29, s. 19].

AEB-testien dokumentointiin käytetään kolmea videokameraa, joista yksi kuvaa auton jarrutusta ulkoa (kuva 12) ja kaksi sisältä. Toinen kuvaa näkymää tuulilasista ja toinen mittaristoa. Lisäksi julkaistavaa materiaalia varten kuvataan videota myös muista kuvakulmista. Jos testiauto vaurioituu, otetaan vaurioista kuvat. Euro NCAP julkaisee videon vain suurimmasta nopeudesta tapahtuneesta onnistuneesta AEB-jarrutuksesta tai suurimmasta nopeuden alenemasta sekä mahdollisista epätavallisista tapahtumista. [32, s. 35–38.]



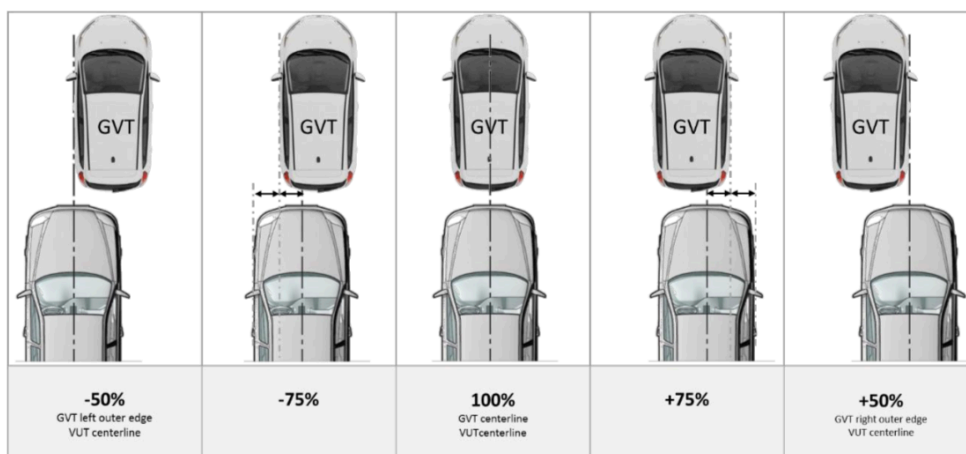
Kuva 12. Näkymä ulkoa AEB City -testissä [33].

### 3.4 Euro NCAP:n AEB Inter Urban -testi

AEB Inter Urban -testi kuvaa maantieajon tilanteita neljällä erilaisella ajotilanteella, jotka ovat seuraavat:

- Ajo kohti paikallaan olevaa autoa nopeudella 30–80 km/h.
- Ajo kohti hitaammin liikuvaa ajoneuvoa nopeudella 30–80 km/h. Hitaamman ajoneuvon nopeus on 20 km/h.
- Ajo ensin vakionopeutta ajavan ja sitten kevyesti jarruttavan auton seuraaminen nopeudella 50 km/h turvavälin ollessa 12 metriä.
- Ajo ensin vakionopeutta ajavan ja sitten voimakkaasti jarruttavan auton seuraaminen nopeudella 50 km/h turvavälin ollessa 40 metriä.

Kahdessa ensimmäisessä ajotilanteessa testaaminen aloitetaan nopeudesta 30 km/h. Jos auto onnistuu välttämään törmäyksen, testinopeutta nostetaan 10 km/h. Jos auto osuu testinopeudella esteeseen, vähennetään nopeutta 5 km/h seuraavaan testiin. Testausta jatketaan nostamalla nopeutta aina 5 km/h, kunnes järjestelmä pystyy alentamaan nopeutta vain 5 km/h ennen törmäystä. Testit tehdään myös tilanteissa, joissa kohtaaminen tapahtuu osittain (kuva 13). Kahdessa jälkimmäisessä testiajoneuvon nopeus on 50 km/h, ja se on esteen kanssa aina samassa linjassa.



Kuva 13. Osittaisen kohtaamisen tilanteet [29, s. 5].

Maantieajossa kuljettajalla on tyypillisesti aikaa reagoida itse vaaratilanteisiin, joten näissä ajotilanteissa testataan AEB-jarrutuksen lisäksi FCW eli AEB-varoitus [34]. FCW testataan kolmessa viimeisessä ajotilanteessa vain niillä nopeuksilla, joilla AEB ei pysty jarruttamalla estämään törmäystä. Testaaminen lopetetaan, kun nopeuden alenema

kuljettajaa simuloivan robotin jarruttamana on alle 5 km/h tai esteeseen osutaan nopeudella, joka on yli 50 km/h.

Arvosteluun vaikuttaa kolme osa-aluetta, jotka ovat

- AEB-jarrutustoiminto
- FCW eli AEB-varoitus
- Human Machine Interface (HMI) eli käyttöliittymä.

Perusvaatimuksia AEB- ja FCW-toiminnoille on muutama. Järjestelmien on toimittava vähintään nopeuteen 80 km/h asti, ja niiden on oltava oletusarvoisesti päällä aina auton käynnistyessä. FCW:ssä pitää olla dynaaminen jarrutusavustin, joka tehostaa mahdollista törmäysvaroituksen jälkeen alkavaa kuljettajan jarrutusta. Lisäksi FCW:n audiovisuaalinen varoitus on oltava kuuluva ja selkeä. Käyttöliittymän kautta järjestelmien poiskytkentä ei saa onnistua yhdellä napin painalluksella. [35, s. 9.]

Valmistajan on toimitettava AEB-testien ennakoidut tulokset Euro NCAP:lle ennen testejä. Järjestö ei testaa kaikkia mahdollisia nopeuksia ja tilanteita, vaan se testaa AEB:n kymmenellä ja FCW:n kymmenellä satunnaisesti valitulla nopeudella ja tilanteella varmistaa järjestelmien toiminnan. Näiden tulosten perusteella lasketaan korjauskerroimet, joiden avulla testien tulokset voidaan suhteuttaa ennakoituihin tuloksiin. [35, s. 10.]

HMI-osiosta saa lisäpisteitä, jos vaadittua audiovisuaalista FCW-törmäysvaroitusta täydennetään lisävaroituksella, joka annetaan yhtä aikaa edellä mainitun kanssa. Lisävaroitus voi olla esimerkiksi HUD-näytölle heijastettu varoitus, turvavyön nykäisy, herätejarrutus tai jokin muu haptinen varoitus. Myös turvavöiden esikiristys AEB:n toiminnan aikana tuo lisäpisteen.

Testissä parhaan arvosanan saavat autot, jotka pystyvät joko välttämään törmäyksen kaikissa testitilanteissa tai vähentämään törmäyksen vakavuutta merkittävästi sekä saavat lisäpisteitä.

### 3.5 Euro NCAP:n AEB City -testi

AEB City -testi kuvaa nimensä mukaisesti kaupunkiajoa. Testin ainoa ajotilanne on ajo kohti paikallaan olevaa autoa nopeudella 10–50 km/h. Muuten testaus suoritetaan samoin kuin AEB Inter Urban -testissä eli nopeutta nostetaan asteittain ja lisäksi testi suoritetaan viidellä eri ajolinjalla. Etuistuimilta vaaditaan hyvä suoja pääntuen antamaa piiskaheilahdussuojaa mittaavassa whiplash-testissä, jotta AEB City-osiosta voi saada pisteitä [29, s.1]. Koska kaupunkiajossa välimatkat autojen välillä ovat lyhyemmät kuin maantieajossa, on reagointiaikaa vähemmän, joten arvostelussa huomioidaan ainoastaan AEB-jarrutustoiminto [34].

### 3.6 Euro NCAP:n AEB VRU -testi

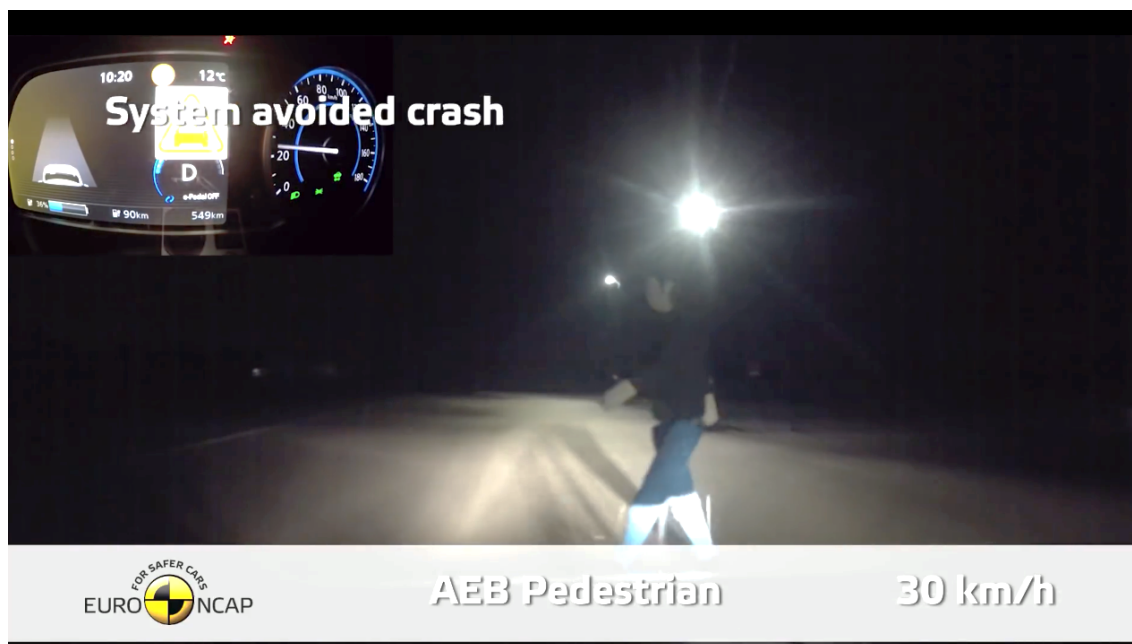
AEB VRU -testin tilanteet mittaavat AEB-järjestelmän suorituskyykyä kevyen liikenteen kanssa tapahtuvissa vaaratilanteissa. Auton on saatava riittävästi pisteitä jalankulkijatörmäystesteistä, jotta VRU-testistä on mahdollista saada pisteitä [27, s. 1]. AEB:n reagointia auton edessä kulkeviin jalankulkijoihin ja pyöräilijöihin testataan seitsemässä eri tilanteessa nopeuksilla 20–60 km/h. Testitilanteet ovat seuraavat:

- Auton ajolinjaan nähden poikittain vasemmalta oikealle liikkuva aikuisjalankulkija.
- Auton ajolinjaan nähden poikittain oikealta vasemmalle liikkuva aikuisjalankulkija kahdella eri etenemissyvyydellä. (Nämä testit tehdään myös pimeällä lähivaloja käyttäen.)
- Auton ajolinjaan nähden poikittain oikealta vasemmalle juokseva lapsijalankulkija, joka tulee näköesteen takaa.
- Auton kanssa samaan suuntaan samalla linjalla kävelevä aikuisjalankulkija.
- Auton ajolinjaan nähden poikittain oikealta vasemmalle pyöräilevä aikuinen.
- Auton kanssa samaan suuntaan samaa ajolinjaa pyöräilevä aikuinen (Testinopeus on muista tilanteista poiketen 25–60 km/h. Testi tehdään myös pimeällä kaukovaloja käyttäen.)

Lisäksi FCW:n reagointia testataan kahdella tilanteella, joista toisessa aikuisjalankulkija ja toisessa pyöräilijä kulkee samaan suuntaan testiauton kanssa eri ajolinjaa. Ensiksi mainittu testi tehdään myös pimeällä kaukovaloja käyttäen. Testinopeus on molemmissa

50–80 km/h. Jalankulkijoiden nopeudet vaihtelevat testistä riippuen välillä 5–8 km/h ja pyöräilijän välillä 15–20 km/h.

Kaikki variaatiot yhteenlaskettuna testejä tehdään siis 13 tilanteessa, joista neljässä on pimeää (kuva 14). Kymmenen tilannetta testaa AEB:n ja kolme FCW:n toimintaa.



Kuva 14. Nissan Leaf pimeällä tehtävässä AEB Pedestrian -testissä [36].

Valmistajan on toimitettava myös VRU-testiä varten järjestelmälle ennakoimansa tulokset. Testaus aloitetaan valmistelujen jälkeen tilanteelle määritetyllä miniminopeudella. Jos törmäys vältetään, nostetaan nopeutta pykälissä aina 5 km/h kerrallaan. Testaus lopetetaan, kun nopeuden alenema on alle 20 km/h testinopeuksilla, jotka ylittävät 40 km/h. Testaus lopetetaan myös, jos valmistajan ennakkotietojen mukaan järjestelmä ei enää toimi korkeammilla nopeuksilla. Jos tulokset poikkeavat yli 5 km/h valmistajan ennakoimista tai törmäysvaroitusta alkaa 1,5–1,7 sekuntia ennen, toistetaan testit kaksi kertaa toimintavarmuuden tarkkailemiseksi, ja lopulliset tulokset valitaan yhdessä valmistajan kanssa niin, että ne kuvaavat auton toimintaa parhaiten. Testinopeuksiin 40 km/h asti on käytössä nopeudenalennema perustuva asteikko. Suuremmissa nopeuksissa tulos on joko hyväksytty tai hylätty [37, s. 15].

Lisävaatimuksina autot tunnistavaan AEB-järjestelmään nähden on jalankulkijat tunnistavan AEB-järjestelmän toimittava alkaen nopeudesta 10 km/h sekä päivän että yön

valaistusolosuhteissa. Lisäksi sen on tunnistettava hitaasti, vain nopeudella 3 km/h kävelevä ihminen. Sekä päivä- että yöolosuhteissa järjestelmän on kyettävä hidastamaan törmäysnopeutta 20 km/h, kun aikuisjalankulkija kulkee oikealta vasemmalle testiauton ajolinjan poikki. FCW-testeissä on varoituksen tultava vähintään 1,7 sekuntia ennen laskettua törmäyshetkeä. [37, s. 15–16].

### 3.7 NHTSAn FCW-testit

NHTSA testaa tällä hetkellä vain FCW-toimintoa [38, s. 3]. FCW:n on varoitettava kuljettajaa kolmessa eri testitilanteessa riittävän aikaisin. Myös järjestelmän luotettavuus testataan, sillä jokaisessa tilanteessa järjestelmän on toimittava viidessä testissä seitsemästä. Testitilanteet ovat seuraavat:

- Samalle kaistalle on pysähtynyt auto.
- Tasaisella nopeudella edellä ajava auto alkaa jarruttaa (jarruvalot syttyvät).
- Edellä on hitaammin ajava auto.

Kaikissa testitilanteissa testiajoneuvolla ajetaan nopeudella 72 km/h. Ensimmäisessä varoituksen on tultava vähintään 2,1 sekuntia ennen laskennallista törmäyshetkeä, toisessa 2,4 sekuntia ennen ja kolmannessa 2,0 sekuntia ennen. FCW:n varoituksen on oltava joko akustinen, haptinen, visuaalinen tai jokin näiden yhdistelmä.

Testiajoneuvossa ei saa käyttää perinteistä eikä adaptiivista vakionopeudensäädintä, vaan kuljettajan on käytettävä kaasupoljinta. Testissä käytetään vastapuolena esteen sijasta toista autoa, jossa on oltava kuljettaja toisessa ja kolmannessa testitilanteessa. Autossa on myös oltava takarekisterikilpi esimerkiksi hahmontunnistuksen helpottamiseksi.

### 3.8 IIHS:n AEB-testit

IIHS testaa tällä hetkellä AEB-järjestelmiä yhdellä testitilanteella, jossa ajetaan kahdella eri nopeudella kohti paikoillaan olevaa, auton perää muistuttavaa estettä (kuva 15). Pienempi nopeus on 20 km/h ja suurempi 40 km/h [39, s. 1].



Kuva 15. Katettu testirata, jonka ansiosta IIHS voi testata AEB-järjestelmiä ympäri vuoden [40].

Saadakseen pisteitä IIHS:n testistä, on auton läpäistävä ensin NHTSAn testi hyväksytysti. Parhaaseen IIHS:n arvosanaan vaaditaan joko täysin onnistunut pysähtyminen molemmissa testeissä tai merkittävä törmäysnopeuden alenema. Ensimmäisessä testissä nopeuden on alennuttava vähintään 16 km/h ja toisessa 35 km/h. Myös FCW:stä saa lisäpisteen. [41.]

Testi suoritetaan kuivalla, tasaisella asfaltilla, jossa on normaalit tiemerkinnot. Ympäristön on oltava Euro NCAP:n testien tapaan vapaa häiriötekijöistä. Säätilalle on samantapaiset vaatimukset, mutta testiolosuhteita seurataan minuutin välein. Ennen testiä auto valmistellaan tarkastamalla rengaspaineet ja täyttämällä nestesäiliöt ohjeen mukaisesti. Jarrujen lämmityksen ja testin tai kahden testin välissä on odotettava kolme minuuttia.

Testissä estettä lähestytään hitaasti nopeutta kiihdyttäen 150 tai 200 metrin päästä testistä riippuen. Varsinainen testivaihe alkaa pienemmän nopeuden testissä 30 metrin päässä esteestä ja suuremman nopeuden testissä 60 metrin päässä. Tämän vaiheen aikana kuljettajan on käytettävä kaasupoljinta ja ohjausta mahdollisimman vähän niin, että testinopeus ja auton suunta pysyvät yllä. Jarrupolkimeen ei saa koskea. Testi päättyy, kun auto pysähtyy ennen estettä tai osuu siihen. Testi hyväksytään, jos kriteerit muun muassa nopeudelle ja suunnalle täyttyvät.



Kummallakin testinopeudella on ajettava vähintään viisi hyväksyttyä testiä. Lopputulos saadaan näissä testeissä tapahtuneen nopeudenaleneman keskiarvona.

#### 4 TM:n testimenetelmän suunnittelu

Tekniikan Maailman vahvuutena autojen testauksessa on kyky luoda todellisia tilanteita hyvin kuvaavia testimenetelmiä. Autotehtaiden ja viranomaistahojen käyttämät standarditestit ovat usein rajuja yksinkertaistuksia todellisen maailman tilanteista, jotta testit voidaan tehdä luotettavasti ja kustannustehokkaasti. Viimeisin osoitus tästä vahvuudesta on Tekniikan Maailman numerossa 9/2018 julkaisema löydös, jossa Seat Aronan, Ibizan sekä Volkswagen Polon vasen takaturvavyö aukesi väistökokeessa täydellä viiden hengen kuormalla. Keskimatkustajan turvavyönlukko painoi vasemman reunamatkustajan vyön auki. Autonvalmistajat eivät olleet havainneet tätä vaarallista suunnitteluvirhettä, koska he käyttivät testeissään takaistuimella kolmen ihmisen sijaan kahta vedellä täytettyä painoa.

AEB-järjestelmien testimenetelmää kehitettäessä pyrittiin ottamaan huomioon liikenteen todelliset vaaratilanteet unohtamatta standarditestien erinomaista toistettavuutta ja luotettavuutta. Lähtökohtana pidettiin luvussa 3 esiteltyjä virallisia testejä sekä AEB-järjestelmien rajoitteita, jotka esiteltiin luvussa 2. Rajoitteiden tutkimisen avulla testitilanteista saatiin riittävän monipuolisia ja testiohjeista riittävän tarkat. Seuraavassa tarkastellaan onnettomuustilastoja sekä kahta esimerkkitapausta. Näiden jälkeen esitellään valitut testitilanteet, testilaitteistot sekä testausolosuhteet. Lopuksi esitellään testiohjeen ensimmäinen versio, jota paranneltiin kehitystyön aikana. Parannuksista on kerrottu tarkemmin luvussa 5.

##### 4.1 Onnettomuustilastot ja -tilanteet

Yhdysvalloissa vuonna 2016 julkaistun tutkimuksen mukaan AEB-järjestelmät estävät tehokkaasti peräänajoja [42, s. 150]. Vuonna 2015 julkaistun Euro NCAP:n tutkimuksen mukaan alhaisissa nopeuksissa toimiva AEB-järjestelmä voisi estää 38 % kaikista peräänajoista [43].

OTIn mukaan Suomessa vuosina 2007–2016 kahden henkilöauton välisissä peräänajoissa kuoli keskimäärin yksi ja vammautui noin 2900 henkilöä vuodessa. Kuolleiden ja vammautuneiden suhteesta voi päätellä vammojen olevan pääosin lieviä. Henkilöauton ja jalankulkijan välisissä onnettomuuksissa kuoli ja vammautui samalla tarkastelujaksolla huomattavasti enemmän ihmisiä. Vuositasolla kuolleita oli keskimäärin 16 ja vammautuneita noin 450. Lisäksi vakavia vammautumisia oli huomattavasti enemmän kuin peräänajoissa. [44.]

Aiemmin TM on testannut AEB-järjestelmiä vain peräänajoa paikoillaan olevaan autoon simuloivalla tilanteella. Vaikka peräänajoissa loukkaantuukin Suomessa lukumääräisesti paljon ihmisiä, on edellä mainittujen tietojen valossa AEB-järjestelmien suurin potentiaali kevyen liikenteen kanssa tapahtuvien onnettomuuksien ehkäisemisessä. Tämän vuoksi testiohjelmaan on tärkeää sisällyttää esimerkiksi jalankulkijatestejä AEB-järjestelmille.

Myös Euro NCAP toteaa testiprotokollassaan [27, s. 1], että auton ja jalankulkijan väliset onnettomuudet ovat eräitä useimmin tapahtuvia onnettomuuksia, joiden syynä on kuljettajan virhearvio tai huomion herpaantuminen. Lisäksi kuljettajalle jää hyvin vähän reaktioaikaa, jolloin automaattinen hätäjarrutus voi pelastaa jalankulkijan hengen.

#### 4.1.1 Esimerkitapaus: peräänajo maantiellä

Liikenneonnettomuuksien tutkijalautakunnan tutkimassa peräänajo-onnettomuudessa kuoli kaksi henkilöä. Osapuolina onnettomuudessa olivat kuorma- ja henkilöauto sekä pakettiauto. Henkilöauto oli pysähtynyt kaksikaistaiselle maantielle aikomuksenaan kääntyä vasemmalle. Henkilöauton oli väistettävä vastaantulevaa liikennettä ennen kääntymistään. Samaan aikaan henkilöauton takaa lähestyi kuorma-auto. Kuorma-auton kuljettajan huomio suuntautui hetkeä ennen törmäystä muualle, eikä hän siksi havainnut ajoradalle pysähtynyttä henkilöautoa. Kuorma-auto törmäsi vasemmalla etuosallaan henkilöauton oikeaan takaosaan noin nopeudella 81 km/h. Törmäyksen voimasta henkilöauto sinkoutui vastaantulevan pakettiauton keulaan. Henkilöauton molemmat matkustajat kuolivat välittömästi vaikeisiin kaulan alueen vammoihin. Kuorma-auto oli vanha, eikä siinä ollut AEB-järjestelmää. [45.]

Tämä onnettomuus osoittaa, että vakavia peräänajoja tapahtuu hyvin korkeissa nopeuksissa. Siksi AEB-järjestelmien jarrutus- ja varoitustoimintoja on tärkeää testata myös korkeissa nopeuksissa. Tässä tapauksessa törmäys oli vielä osittainen. Siksi AEB-

järjestelmien toimintaa olisi hyvä testata myös osittaisissa kohtaamistilanteissa. Erityisen vakavaksi onnettomuuden teki ajoneuvojen massojen suuri ero.

#### 4.1.2 Esimerkkitapaus: törmäys jalankulkijaan kaupunkiliikenteessä

Toisessa liikenneonnettomuuksien tutkijalautakunnan tutkimassa henkilöauton ja jalankulkijan välisessä onnettomuudessa menehtyi yksi henkilö. Henkilöauto lähestyi suojatietä kaupunkialueella nopeudella noin 30–40 km/h. Jalankulkija ylitti suojatiellä katua henkilöauton kulkusuunnasta katsottuna vasemmalta oikealle. Kuljettaja ei havainnut jalankulkijaa riittävän aikaisin, joten henkilöauto törmäsi oikealla etukulmallaan jalankulkijaan nopeudella 20–30 km/h. Osuman voimasta jalankulkija iskeytyi henkilöauton konepellille ja putosi kadulle. Jalankulkija kuoli seuraavana päivänä saamiinsa vaikeisiin pään alueen vammoihin. Henkilöauto oli vanha, eikä siinä ollut AEB-järjestelmää. [46.]

Tämä onnettomuus osoittaa, että jo hyvin pienissä nopeuksissa tapahtuvissa henkilöauton ja jalankulkijan välisissä onnettomuuksissa jalankulkija voi menehtyä. Tässä tilanteessa kuolemanriskiä lisäsi jalankulkijan korkea ikä. Jalankulkija käytti rollaattoria liikumisen apuna. AEB-järjestelmien rajoitteissa on yleisesti mainittu, ettei jalankulkijatunnistus toimi, jos jalankulkija kulkee kumarassa tai hänellä on käytössään jokin liikumisen apuväline. Tämän vuoksi toiminta kyseisessä tilanteessa ei olisi ollut varmaa. AEB-järjestelmien jalankulkijatunnistuksen testaaminen on kuitenkin tärkeää, ja siihen kannattaa panostaa, jotta järjestelmät kehittyisivät toimimaan myös edellä kuvatuissa tilanteissa.

#### 4.2 Testitilanne ja testilaitteisto: peräänajo

Perustestiksi valittiin peräänajoa paikallaan olevaan autoon simuloiva tilanne, jota TM on siis ennenkin käyttänyt. Lisäksi kaikkiin luvussa 3 kuvattuihin virallisiin AEB-testeihin kuuluu vastaava tilanne. Tällainen peräänajotilanne on päivittäisessä liikenteessä täysin mahdollinen.

Suomessa tapahtuvissa peräänajoissa vammautuu vuosittain huomattava määrä ihmisiä. Vammautumiseen johtaneista peräänajoista 33 %:ssa vastapuoli on ollut pysähtyneenä. Kuitenkin kuolemaan johtaneissa peräänajoissa vain 7 %:ssa vastapuoli on ollut pysähtyneenä. Kuolemaan johtaneiden peräänajojen mediaanitörmäysnopeus oli 85

km/h, joten törmäysnopeus voi olla huomattava. [44.] Tämän vuoksi testauksessa etsitään suurin nopeus, josta auto pysähtyy esteeseen eikä testata vain kahta melko pientä nopeutta, kuten IIHS tekee.

Vaikka testitilanne kuulostaa helpohkolta, on kone- ja ihmisenäön tapauksessa paikallaan oleva este liikkuvaa vaikeampi tunnistaa [6]. Esimerkiksi kaarretta ajaessa auton pitää pystyä tunnistamaan, että pysäköidyt autot eivät ole törmäyskohteita [20]. Testaaminen paikoillaan olevaan esteeseen on kaiken lisäksi helpommin järjestettävissä, koska estettä ei tarvitse liikuttaa.

Testitilanteessa auton ja esteen keskilinjat ovat yhtenevät nykyisen esteen rajoitteista johtuen. Jotta voitaisiin testata osittaista kohtaamista simuloivia tilanteita, olisi esteen oltava myös oikean auton pituinen.

Yleisiä vaatimuksia AEB-testaamisessa käytetyille esteille on useita. Esteiden on muistutettava hahmoltaan ja heijasteiltaan oikeaa kohdetta. Kamera tunnistaa hahmon, ja heijasteita tarkkaillaan esimerkiksi LIDAR-antureilla ja tutkalla, joka voi toimia 24 tai 77 GHz:n taajuudella. Lisäksi este ei saa vaurioittaa autoa, eivätkä sen ominaisuudet saa muuttua törmäysten myötä. Myös kuljetuksen ja kokoamisen helppous on huomioitava, jotta testaaminen on tehokasta. [47.]

TM:n staattinen ajoneuvoeste (kuva 16) on rakennettu mukaillen Euro NCAP:n alun perin käyttämää Messring Systembau GmbH:n valmistamaa virallista estettä. Sen ensimmäinen kehitysversio valmistui vuoden 2017 Talvitestiin. Este muistuttaa auton perää sekä hahmoltaan että LIDAR- ja tutkaheijasteiltaan. Este suunniteltiin sekä joustamaan että liikkumaan pois päin auton osuessa siihen, jotta kalliilta vaurioilta välttyttäisiin. Kesäolosuhteissa este lepää pyörien päällä ja talvisin suksilla.



Kuva 16. TM:n staattinen autoeste [48].

Tämän insinööriyön alkaessa TM oli rakentamassa toista kehitysversiota tästä törmäysesteestä. Tavoitteena oli keventää rakennetta, jotta estettä olisi helpompi liikutella paikasta toiseen, ja jotta testiautojen riski vaurioitua vähenisi edelleen. Esteen ulkoasu muuttui minimaalisesti, mutta koska rakenne muuttui alkuperäisestä, oli tärkeää varmistua, että este muistuttaisi eri tekniikoilla havainnoituina edelleen oikean auton perää. Tämä takia uutta estettä testattiin kolmea eri tekniikkaa eli LIDARia, tutkaa ja kameraa hyödyntäen.

LIDAR-testit suoritettiin Metropolia Ammattikorkeakoulun käytössä olevalla EasyMile EZ10 -robottibussilla. Bussin skannaavien LIDAR-anturien näkemä ympäristöstä oli nähtävillä kehitysympäristön kautta bussin tietonäytöltä. Testissä verrattiin, miten auton perä ja vastaavasti este näkyvät antureille. Tulos oli, että este ja auton perä muistuttivat toisiinsa. Jos bussi oli sivussa esteestä, kykeni LIDAR-skanneri hahmottamaan, että este oli paljon autoa lyhyempi.

Tutkatestissä käytettiin siirrettävää Sick RAS407-28010S01 -tutka-anturia. Tutkatestissä verrattiin vuorotellen esteen sekä auton perän tuottamia tutkaheijasteita ja todettiin, että este tuottaa paikoin jopa voimakkaamman tutkaheijasteen kuin auto.

Kameran sekä tutkan havainnointi yhdistyi testissä, joka suoritettiin Tesla Model S -merkkistä autoa hyödyntäen. Kun este oli paikallaan parkkipaikalla, ajettiin autolla sitä kohti. Tesla selvästi tunnisti esteen autoksi, sillä mittaristoon syttyi auton kuva, joka suuren, kun etäisyys esteeseen pieneni.

Kun näiden testien avulla oli varmistettu esteen kuvaavan hyvin auton perää, voitiin varsinaiset testit uudella esteellä aloittaa. Ensimmäistä kertaa testejä suoritettiin vuoden 2018 Talvitestin yhteydessä. Näiden ja myöhempien testien aikana esteen rakenne kärsi melko suuria vahinkoja autojen osuttua esteeseen suurillakin nopeuksilla. Kertyneiden kokemusten pohjalta suunniteltiin ja rakennettiin esteen kolmas kehitysversio. Se suunniteltiin alusta alkaen hyvin kevyeksi, ja pyörät integroitiin osaksi rakennetta. Este koostuu paloista, jotka liittyvät toisiinsa hammastusten avulla. Hajoavan rakenteen tehtävänä on sitoa törmäysenergiaa, kuten Euro NCAP:n käyttämässä nykyisessä GVT:ssa. Toiseen kehitysversioon nähden heijastepinnat (kuva 17) säilyivät entisellään, mutta paino putosi puoleen. Este painaa enää 17 kg, ja lisäksi se liikkuu aiempaa paljon herkemmin.



Kuva 17. TM:n autoesteen uusin kehitysversio ilman autopeitettä [48].

Tämä kolmas versio testattiin käyttäen kahta eri merkkistä autoa, jotka olivat Opel Insignia Country Tourer sekä Volvo XC60. Autojen reagointia uuden ja vanhan esteen välillä

verrattiin. Eroja ei havaittu, joten este voitiin ottaa käyttöön. Ainoaksi puutteeksi osoitautui esteen herkkyys kaatumiselle tuulisissa olosuhteissa.

#### 4.3 Testitilanne ja testilaitteisto: jalankulkijat

Luvussa 4.1 todettiin, että Suomessa AEB-järjestelmien potentiaali on jalankulkijakuolemien estämisessä. Siksi suurin panostus AEB-järjestelmien testaamisessa kannattaakin kohdistaa jalankulkijatestaamiseen. Insinööriyön aikana jalankulkijatestaamisen kehityksessä ilmeni käytännön ongelmia. Suurimmat vaikeudet testaamisen kannalta ovat sopivan jalankulkijanuken rakentaminen ja jalankulkijaa suojaavien aktiivisten turvalaitteiden käyttäytyminen testissä. 4activeSystemsin jalankulkijanukkien kehitystyöstä vastaavan projektipäällikkö Thomas Wimmerin [49] mukaan turvalaitteiden deaktivointia ei normaalisti tarvita, sillä nuket ovat hyvin kevyitä (noin 7 kg). Jotkin valmistajat kuitenkin deaktivoivat ne turvallisuussyistä. Asia olisi varmistettava aina autokohtaisesti maahantuojalta ennen testiä. Muun muassa näiden seikkojen vuoksi jalankulkijatestaaminen vaatii lisää kehitystyötä eikä testimenetelmä valmistu insinööriyön aikana.

Insinööriyön puitteissa tehtiin kuitenkin alustavia testejä varten ensimmäinen versio jalankulkijanukesta. Se oli paikoillaan oleva, muodoltaan seisovaa ihmistä muistuttava hahmo (kuva 18). Kooltaan nukke oli 95. prosenttipisteen miehen sekä 4activeSystemsin aikuisnukan väliltä, mutta se oli molempia harteikkaampi [50; 31, s. 4]. Ensiksi mainitun koko määritellään siten, että suurempia miehiä on väestössä vain viisi prosenttia. Nukke tehtiin kuljetuksen helpottamiseksi neljästä vaahtomuovin palasta. Nukelle puettiin päälle haalari, joka koostui polyesteristä ja puuvillasta.

Ensimmäisen version tavoitteena oli tutkia, sopiiko vaahtomuovi nukan materiaaliksi. Esimerkiksi Volvon City Safety käyttää jalankulkijan tunnistukseen sekä kameraa että tutkaa. Näin ollen sekä hahmon että materiaalin on oltava ihmistä muistuttavat. Ensimmäiset testit olivat lupaavia. Sekä Opel Grandland X että Volvo XC60 jarruttivat nukkeen toistuvasti ja pysähtyivät hyvin.



Kuva 18. TM:n jalankulkijanukken ensimmäinen versio.

Jatkossa nukkea on kehitettävä niin, että se muistuttaa katua ylittävää ihmistä. Hahmon on oltava siis kävelevän ihmisen sivuprofiili. Seuraava nukke on myös pienikokoisempi, simuloiden pienikokoista aikuista tai lasta. Pienikokoisen aikuisen mittoina voitaisiin hyödyntää viidennen prosenttipisteen naisen mittoja [50]. Tämän kokoisia naisia on väestössä alle viisi prosenttia.

AEB-järjestelmien rajoitteiden ja todellisten tilanteiden ristiriita on, että jalankulkijatunnistuksen onnistumiseksi jalankulkijan on oltava tietyn muotoinen. Jalankulkijoilla on kuitenkin usein kantamuksia, kuten reppu tai ostoskassi. Vanhukset kulkevat puolestaan kumarassa ja voivat käyttää rollaattoria. Siksi testissä nukella on oltava esimerkiksi reppu selässä.

Tavoitteena on, että testissä jalankulkija tulee näkyviin yllättäen. Liikenteessä vastaava tilanne syntyy, jos jalankulkija lähtee ylittämään katua esimerkiksi pysäköityjen autojen takaa. Toinen tyypillinen ja erittäin vaarallinen tilanne on ohittaa suojatien eteen pysähtynyt ajoneuvo. Näissä tilanteissa jalankulkija voi tulla viereisen auton takaa täysin yllättäen, jolloin kuljettajalle jää reagointiaikaa hyvin vähän. Myös Euro NCAP käyttää



testeissään tällaista yllättävää tilannetta. Alustavien suunnitelmien mukaan testissä hyödynnetään TM:n pakettiautoa, jonka katolle asennettavasta kiskosta nukke roikkuu. Kun testattava ajoneuvo lähestyy, liikkuu jalankulkijanukke pakettiautosta kiskoa pitkin ajoneuvon ajoradalle. Tämän liikutteluun tarvittavan järjestelmän rakentaminen rajattiin myös insinööriyön ulkopuolelle.

Testinopeudet ja arvostelu on sovitettava jalankulkijan vammautumisriskiin, joka muuttuu törmäysnopeuden funktiona. Ilmenneiden vaikeuksien myötä myös testiohjeen ja arvostelukriteerien laatiminen rajataan tämän työn ulkopuolelle.

#### 4.4 Testausalue ja -olosuhteet

Kehitystyötä tehdessä päädyttiin siihen, että peräänajotilanteen testimenetelmä mukautetaan erikseen kesä- ja talviolosuhteisiin. Testausolosuhteet on tärkeää määritellä ennalta, jotta niiden vaikutus testin tuloksiin voidaan poissulkea. Molemmissa olosuhteissa testialueen on oltava tasainen, eikä testiasteen ympärillä saa olla ihmisiä tai muita ajoneuvoja. Tämä vaatimus täyttyy helposti, sillä AEB-testit voidaan suorittaa samalla alueella kuin TM:n nykyiset väistökokeet. Ne tehdään tavallisesti testikeskuksessa, lentokentällä tai moottoriradalla. Testaamisen nopeuttamiseksi testirata merkitään maalimerkein testausalueelle. Näin rata on myöhemmillä testikerroilla nopeampi valmistella.

Kesätestit päätettiin suorittaa kuivalla asfaltilla, joka tarjoaa hyvän kitkan. Testit tehdään valoisalla, mutta vastavaloon ajamista pitää välttää, jotta kamerapohjainen järjestelmä ei häiriinny. Sään on oltava sateeton ja tuulen korkeintaan kohtuullinen. Nämä edustavat liikenteen optimiolosuhteita. Myös AEB-järjestelmillä on silloin parhaat edellytykset toimia.

Talvisessa liikenteessä pimeys ja heikko kitka vaikeuttavat AEB-järjestelmien toimintaa, sillä esimerkiksi kamera toimii pimeässä rajallisesti, kuten luvussa 2 todettiin. Testaaminen suoritetaan lumipinnalla, jonka kitka on huomattavasti kesäistä asfalttia heikompi. Luonnollinen valaistusolosuhde Lapissa tehtävässä Talvitestissä on kaamosajan pimeys. Lumisadetta ei sallita, sillä sitä ei voida vakioda kaikille autoille samanlaiseksi.

Kaikkein laajin käsitys AEB-järjestelmien toimivuudesta saataisiin, jos molemmissa olosuhteissa voitaisiin testata sekä valoisalla että pimeällä. Kustannustehokkuuden kannalta on kuitenkin tärkeää löytää järjestelmien oleelliset erot ja saada ne esiin testeissä.

#### 4.5 Alustava testiohje ja pöytäkirja

Ennen ensimmäisiä testejä hahmoteltiin testiohjeen runko sekä pöytäkirja tuloksia varten. Näitä päätettiin parannella kehitystyön aikana kertyneiden kokemusten pohjalta. Alustavasti testiohjeeseen sisällytettiin seuraavat viisi pääkohtaa:

- testin valmistelu
- suurimman AEB-pysähtymisnopeuden etsiminen
- toimintavarmuuden testaus
- AEB-varoituksen testaus
- lisätoimintojen tarkastaminen.

Tulosten vertailukelpoisuuden varmistamiseksi testin valmisteluun päätettiin sisällyttää esimerkiksi rengaspaineiden tarkastus, auton polttoainesäiliön täyttö, tunnistimien puhdistus, AEB-järjestelmän asetusten säätö sekä GPS-nopeusmittarin asennus mittarivirheen eliminoinemiseksi. Nopeutta voitaisiin mitata myös tutkalla, mutta järjestelmien häiriöttömän toiminnan varmistamiseksi sitä ei käytetä. Lisäksi jarrut ja renkaat lämmitetään ennen ensimmäistä testiä suorittamalla hätäjarrutus nopeudesta 80 km/h. Autossa on kyydissä kuljettajan lisäksi avustaja, joka tekee muistiinpanoja.

AEB-järjestelmien rajoitteiden vuoksi testausohjeeseen lisättiin useita tarkennuksia. ASR:n ja ESC:n on oltava normaalitilassa, sillä esimerkiksi ESC Sport -asetuksella AEB voi kytkeytyä pois käytöstä. Matkustajien turvavyöt on oltava kytketyt, jotta AEB toimii. Poikkeuksetta kuljettajan aktiivinen toiminta estää järjestelmän toiminnan, joten testin aikana on vältettävä ohjaamasta tai painamasta kaasua-, jarru- tai kytkinpoljinta voimakkaasti. Kuljettajan aktiivisuudesta viestii järjestelmälle myös vaihteenvaihtimen tai suuntamerkin käyttö. AEB ei välttämättä toimi vaihde vapaalla tai peruutusvaihteella. Manuaalivaihteista autoa ajetaan testissä vaihto-opastimen mukaan, ja automaattivaihteissa käytetään D-asentoa.

Kuljettajan on siis ajettava autoa normaalisti, eikä hän hyväksyttävän testisuorituksen aikana saa koskea jarrupolkimeen ennen kuin auto on pysähtynyt tai osunut esteeseen. Testin aikana vakionopeussäädintä tai nopeudenrajoitinta ei saa käyttää, sillä ne eivät välttämättä kuulu kaikkien autojen varustukseen, ja ne voivat vaikuttaa AEB:n toimintaan. Myöskään tuulilasia ei saa pestä testin aikana, sillä pyyhkijän varsi tai pesuneste voivat haitata esimerkiksi kameran toimintaa. Muutamissa järjestelmissä on auton käynnistyksen jälkeen 10–30 sekunnin viive ennen toiminnan alkamista. Tämä ei haittaa testaamista, sillä lämmittelyjarrutukseen kuluu suunnilleen tämän verran aikaa.

Testaaminen aloitetaan nopeudesta 20 km/h, ja onnistuneen pysähtymisen jälkeen nopeutta nostetaan aina 5 km/h. Euro NCAP:ssa nopeutta nostetaan 10 km/h, mutta pienempään pykälään päädyttiin, jotta esteeseen ei osuttaisi turhaan. Lisäksi suorituskerroja kertyy enemmän, jolloin järjestelmien luotettavuutta on helpompi arvioida. Toleranssi nopeudelle on  $\pm 2$  km/h, joka on sama kuin UNECE:n testissä.

Kun suurin pysähtymisnopeus on löytynyt, alennetaan nopeutta 5 km/h ja ajetaan kaksi suoritusta, jotta nähdään, toimiiko järjestelmä luotettavasti samalla nopeudella peräkkäissä toistoissa.

Tämän jälkeen ajetaan estettä kohti suuremmalla nopeudella (esimerkiksi 60 km/h) ja tarkkaillaan AEB-varoituksen tyyppiä sekä aikaisuutta. Este väistetään.

Lopuksi kirjataan havainnot järjestelmän lisätoiminnoista, kuten turvavöiden esikiristys tai muun liikenteen varoitus esimerkiksi vilkkuvilla jarruvaloilla.

## **5 Testimenetelmän toteutus käytännössä**

Testimenetelmän toteutus alkoi vuoden 2018 Talvitestin yhteydessä. Sitä varten staattisesta autoesteestä oli rakennettu toinen kehitysversio, kuten edellisessä luvussa kerrottiin. Lisäksi Talvitestiä varten luotiin alustava testiohje, johon tehtiin korjauksia havaintojen perusteella. Arviointikriteerien luominen jätettiin myöhempään, sillä ensin oli tärkeää kerätä havaintoja ja kokemuksia AEB-järjestelmien toiminnoista käytännön tilanteissa sekä talvella että kesällä. Näiden kokemusten myötä testimenetelmään tehtiin parannuksia, joiden myötä valmistui lopullinen testiohje.

## 5.1 Talvitesti

Ensimmäiset testit suoritettiin talvella. Testaus- ja arviointimenetelmän kehitys alkoi siis liukkaissa ja pimeissä ajo-olosuhteissa (kuva 19). Kokemusten keräämiseksi testejä tehtiin mahdollisuuksien rajoissa myös valoisalla.



Kuva 19. Citroën C3 Aircross talvella tehdyssä AEB-testissä [51].

Talvella tehtiin tärkeitä havaintoja, jotka herättivät useita lisäkysymyksiä. Aluksi AEB-asetuksista valittiin epäherkin asetus, mutta pian todettiin, että asetus on asetettava herkimmälle, jotta varoitus tulisi ennen estettä. Lisäksi huomattiin, että testaaminen on aloitettava heikon kitkan vuoksi hyvin alhaisesta nopeudesta. Aloitusnopeudeksi kaavailtu 20 km/h osoittautui olevan suurin pysähtymisnopeus parhaillekin järjestelmille. Siksi aloitusnopeus laskettiin arvoon 10 km/h. Talvitestissä nopeudella 60 km/h tarkkailtiin AEB-varoituksen lisäksi sitä, aktivoituuko AEB aikaisemmin, eli huomioiko järjestelmä heikompaa kitkaa, joka pidentää jarrutusmatkaa. Este kuitenkin väistettiin tällä nopeudella joka kerta. Jo aiemmin oltiin havaittu, että AEB-jarrutuksen alkaminen helpottaa väistöä. Liukkaalla tien pinnalla jarrutuksen myötä etuakselille siirtynyt paino parantaa etupyörien pitoa ja siten nopeuttaa ohjausliikkeeseen reagointia. Myös täysin päinvastainen käytös olisi mahdollista, jos AEB ei ohjausliikkeestä huolimatta hellittäisi jarrutusta. Silloin auto voisi puskea suoraan päin estettä, eikä väistö onnistuisi.

Monien autojen suoritus huonontui merkittävästi pimeällä. Esimerkiksi Renault Scenic reagoi esteeseen pimeällä vain kerran aivan lähietäisyydeltä. Joissain tapauksissa kaukovalojen käyttö paransi tilannetta. Autojen AEB-rajoitteista löytyi tähän selitys.

Renault'n ohjekirjassa mainitaan erikseen, että pimeys on merkittävä rajoite AEB:n toiminnalle. Monien muiden tutkittujen autojen ohjekirjoissa mainitaan, että järjestelmä saattaa toimia heikommin pimeällä. Lisäksi monissa mainitaan, että edellä ajavassa autossa on oltava kytkettynä punaiset takavalot, jotta tunnistus pimeällä voidaan suorittaa. TM:n esteessä ei ollut takavaloja, vaan ainoastaan punaiset heijastinteipit. Seuraavaa Talvitestiä varten esteeseen onkin asennettava takavalot. Se parantaa havaittavuutta, ja todennäköisesti AEB:n herkkyyasetuksen voi säätää normaaliksi. Lisäksi estettä oli kevennettävä, sillä se oli yhä liian painava. Sen käsittely oli työlästä, eikä autolla ollut miellyttävää osua siihen vaurioiden pelossa. Parannus tähän tuli jo insinööritöön aikana, sillä kolmas versio autoesteestä rakennettiin työn yhteydessä. Esteen asennus suksille osoitautui mainioksi ratkaisuksi.

Vuodelle 2018 uudistettu Euro NCAP:n AEB-testi huomioi myös pimeät ajo-olosuhteet, sillä osa kevyen liikenteen testeistä tehdään pimeässä, kuten luvussa 3 kerrottiin. Osa testeistä ajetaan lähi- ja osa kaukovaloilla.

Tähän asti ajovalot ovat olleet monille autonvalmistajille toissijainen kehityksen kohde, mutta turvallisuustestien tiukkeneminen voi hyvinkin muuttaa suhtautumista [52]. Kameratekijainen AEB-järjestelmä toimii selvästi paremmin kunnollisilla valoilla, joissa on tehoa ja reilusti kantamaa, kuten Talvitestissä havaittiin. Lisäksi automaattisesti kytkeytyvien kaukovalojen toimintanopeusrajat ovat laskusuunnassa, joka on positiivinen asia [52].

Testimenetelmän kehityksessä oli pohdittava, miten ajovaloja käytetään talvella. Esimerkiksi automaattisten kaukovalojen käyttö olisi mahdollista. Koska kaikissa autoissa ei tätä varustetta vielä ole, päädyttiin osassa testejä käyttämään lähivaloja ja osassa kaukovaloja.

Talvitestissä havaittiin myös, että autojen AEB-järjestelmät kyllästyvät esteeseen, jos suoritusten välissä auton peruuttaa samassa ajolinjassa pois esteen läheltä. Myös OTI on havainnut omissa testeissään saman seikan [20]. Tämän estämiseksi auto on käännettävä jokaisen suorituskerran jälkeen.

Talvella testattiin kokeilumielessä myös osittaista kohtaamista. Testeihin valikoitui AEB-testien osalta hyvin suoriutunut Mazda CX-5. Esteen rajoitteista huolimatta auto reagoi melko usein.

Yksi ongelma oli aikaisemmasta Talvitestistä tuttu. Volkswagen-konsernin valmistamien autojen AEB-järjestelmä ei toiminut kunnolla tiealueen ulkopuolella. Tähän ei toistaiseksi ole löytynyt ratkaisua, vaikka maahantuojaltaakin on kysytty asiasta. Yksi mahdollisuus olisi GPS-signaalin estäminen tiealueella. Tällöin auto ei saisi tietoa siirtymisestä tiealueen ulkopuolelle. Muissa autoissa ei vastaavaa ominaisuutta havaittu, eikä testaaminen eri testialueella vaikuttanut merkittävästi tuloksiin. Valaistusolosuhteiden muuttaminen muutti tuloksia eniten.

Muita havaintoja olivat erot manuaalivaihteisten autojen start-stop-järjestelmien toiminnassa. Edellä mainittu Mazda sammutti AEB:n toiminnan yhteydessä moottorin siististi, mutta Volkswagen T-Rocin moottori jäi käyntiin ja se sammui nykyttäen jarrua vasten.

BMW 530e oli testatuista autoista ainoa, jonka kamerajärjestelmässä oli lämmitys. Tämä on ehdottomasti positiivinen asia talviolosuhteita ajatellen. Hyundai i30 Fastbackin AEB-järjestelmä oli täysin kamerapohjainen ja sen toiminta häiriintyi hyvin helposti tuulilasia pestessä tai pöllyävässä lumessa.

## 5.2 Kesätestit

Kesällä testejä tehtiin useaan otteeseen eri autoilla ja eri testipaikoilla. Testipaikoilla ei havaittu olevan merkittäviä vaikutuksia testin tuloksiin. Pidon ja valaistuksen ollessa merkittävästi paremmat kuin talvella nousi esiin jälleen uusia piirteitä, joiden myötä testimenetelmää oli parannettava.

Mitsubishi Eclipse Crossilla testattiin AEB-varoituksen asetusten vaikutuksia AEB-jarrutuksen ajankohtaan. Testeissä todettiin, ettei asetus vaikuttanut AEB-jarrutuksen toimintaan mitenkään, se vain aikaisti varoituksen ajankohtaa. Asetus päätettiin testien aikana pitää normaalissa, keskitasossa tai oletuksessa, koska todennäköisesti keskivertoautoilija tekee niin. Herkimmällä asetuksella liikenteessä tulee turhia varoituksia, jotka vain häiritsevät ajoa. Autojen käyttöohjekirjoissa epäherkintä asetusta kehoitetaan käyttämään vain, jos keskitason asetuksilla ilmenee turhia varoituksia.

Hankalimmat tilanteet testeissä aiheutuivat nykyisten AEB-järjestelmien heikosta toimintavarmuudesta, joka aiheutti näyttäviä törmäyksiä esteeseen (kuva 20). Esimerkiksi Seat Arona toimi erittäin suuriin nopeuksiin asti hyvin luotettavasti, kunnes nopeudella 65

km/h AEB ei enää aktivoitunutkaan. Kuljettaja havahtui tilanteeseen niin myöhään, ettei esteen väistö enää onnistunut, vaan auto osui siihen kovalla nopeudella. Tuloksena olivat kalliit vauriot auton oikeaan etukulmaan.



Kuva 20. Škoda Karoqin törmäys AEB-esteeseen [53].

Tämän vuoksi oli selvästi kehitettävä ratkaisu, joka helpottaa testin ajamista. Testiradalle päädyttiin asettamaan jarrutusmerkit ja niiden päihin nopeuskyltit. Jokainen merkki osoittaa paikan, josta jarrutuksen pitää tietyllä nopeudella viimeistään alkaa, jotta auto pysähtyy onnistuneesti ennen estettä. Näiden avulla kuljettaja voi arvioida hetken, jolloin väistäminen tai jarruttaminen on aloitettava vahinkojen välttämiseksi, jos AEB ei aktivoitunutkaan. Avustajan turvallisuuden varmistamiseksi matkustajan turvatyyny päätettiin jatkossa kytkeä pois käytöstä testin ajaksi. Lisäksi naarmujen välttämiseksi testattavat autot on syytä pestä ennen AEB-testiä.

Jarrutusmerkit osoittavat siis laskennalliset minimijarrutusmatkat nopeudesta 30 km/h nopeuteen 120 km/h. Alarajaksi päätettiin 30 km/h siksi, että sitä pienemmillä nopeuksilla esteeseen voi turvallisesti osua ilman vaurioiden riskiä. Tekniikan Maailman testeissä nykyautolle keskimääräinen jarrutusmatka kuivalla asfaltilla nopeudesta 100 km/h on 40 metriä. Auton keskimääräinen hidastuvuus laskettiin kaavasta 1.

$$a = \frac{-v^2}{2s} \quad (1)$$

$a$  on hidastuvuus  
 $v$  on alkunopeus  
 $S$  on jarrutusmatka.

Edellä mainituilla lähtötiedoilla auton hidastuvuus on siten noin  $9,6 \text{ m/s}^2$ . Jarrutusmatkat laskettiin kaavasta 2.

$$S = -\frac{v^2}{2a} \quad (2)$$

$S$  on jarrutusmatka  
 $v$  on alkunopeus  
 $a$  on hidastuvuus.

Lasketut jarrutusmatkat edellä mainitulla hidastuvuudella ovat taulukossa 2. Keilat asetettiin testiradalla näille etäisyyksille esteestä.

Taulukko 2. Lasketut jarrutusmatkat.

Nopeus [km/h]	Jarrutusmatka [m]
30	3,6
40	6,4
50	10,0
60	14,4
70	19,6
80	25,6
90	32,4
100	40,0
110	48,4
120	57,6

Jarrutusmerkeistä todettiin olevan myös hyötyä AEB-varoituksen arvioinnissa. Niiden perusteella voidaan havaita, milloin kuljettajaa varoitetaan. Kun tilanne kuvataan



videolle, voidaan jälkikäteen tutkia, kuinka paljon reagointiin jää aikaa. Tämä käsitellään tarkemmin luvussa 6.

Toiminnan epävarmuudesta johtuen suorituskertoja on myös oltava riittävä määrä. Tarpeeksi monen toiston perusteella järjestelmän luotettavuutta voi arvioida oikeudenmukaisemmin.

Kesällä todettiin, että tasavertaisuuden varmistamiseksi on autoilla ajettava saman matkan päästä kohti estettä. Esimerkiksi tutkalla varustettu Opel Insignia tunnistaa edessä olevat autot 150 metrin päästä. Aivan hitaimmilla nopeuksilla ei vauhtia ole järkevää ottaa liian kaukaa. Kuljettajan on arvioitava riittävä matka vauhdinottoon.

Kesäolosuhteissa Opel Grandland X aiheutti hämmennystä. Sen AEB ei toiminut lento-kentällä tehdyissä testeissä lainkaan. Siirtyminen navigaattoriin merkitylle tiealueelle auttoi ja järjestelmä toimi. Selvityksissään maahantuoja tuli siihen tulokseen, että kyseessä on ollut toimintahäiriö, sillä Volkswagen-konsernin autoista tuttua toiminnan rajoitusta tiealueen ulkopuolella ei Grandland X:ssä ole.

Järjestelmien toiminta alkaa valmistajasta riippuen nopeudesta 4–10 km/h, kuten luvussa 2 todettiin. Euro NCAP:n törmäystesteissä istuimien piiskaheilahdussuojaa testataan nopeuksilla 16 ja 24 km/h [54]. Jotta TM:n AEB-testistä voi saada pisteitä, on auton pysähdyttävä suuremmasta nopeudesta kuin 16 km/h. Heikoimmatkin järjestelmät pysäyttivät kesäoloissa auton nopeudesta 20 km/h, joten testien aloitus tuosta nopeudesta vaikutti sopivalta. Suurimmat testinopeudet päätettiin ennalta, jotta arvosteluasteikon laatiminen oli helpompaa. Yläraja testinopeudelle on kulloinkin liikenteessä sallittu suurin nopeus. Kesällä se on siis 120 km/h ja talvella 100 km/h. Tällä hetkellä yksikään auto ei kykene pysähtymään läheskään näin suurista nopeuksista. Kesäoloissa suurin osa testatuista autoista pysähtyi noin nopeudesta 50 km/h, ja saadut tulokset ovat linjassa Euro NCAP:n saamien tulosten kanssa.

### 5.3 Jatkotestit

Jatkotesteissä testattiin parannettu testimenetelmä, -ohje sekä -rata. Ensimmäistä kertaa kokeiltiin arviointikriteereitä, joita käsitellään luvussa 6. Parannukset todettiin muuten onnistuneiksi, mutta todettiin, että jarrutusmerkeistä oli tehtävä korkeammat ja

selkeämmät, jotta kuljettaja näkisi ne helposti. Yksi mahdollisuus olisi vain merkitä jarrutusmerkkien paikat rataa ja käyttää kerrallaan yhtä jarrutusmerkkiä. Sitä voitaisiin suoritusnopeuden kasvaessa siirtää aina seuraavan kriittisen nopeuden kohdalle. Näin kuljettajalla olisi seurattavanaan vain yksi merkki. Testin suoritus vaatii kuljettajalta muutenkin keskittymistä ja nopeaa reagointia osumien välttämiseksi. Staattisen autoesteen kolmas kehitysversio oli paljon edeltäjäänsä kevyempi, joten se ei vaurioita autoa yhtä helposti.

Jatkotesteissä havaittiin kuljettajien välillä pieni ero. Toisilla kuljettajilla Opel Insignia Country Tourer pysyi paikoillaan AEB-jarrutuksen jälkeen ja toisilla ei. Opelin edustajan mukaan AEB-jarrutuksen alkaessa kuljettajan tulisi nostaa jalka kaasupolkimelta. Näin toimimalla auto pysyi paikallaan. Tämä seikka lisättiin testiohjeeseen. Lisäyksestä huolimatta testiohjetta oli yksinkertaistettava.

#### 5.4 Virhemahdollisuuksien arviointi

Testaamisessa oleellista on virhemahdollisuuksien arviointi sekä virheitä tuottavien tekijöiden eliminointi testausprosessista. Lisäksi arvosteluperusteiden on oltava yksiselitteiset ja arvioinnin perustuttava ensisijaisesti objektiivisiin seikkoihin. Lisää arviointikriteereistä on luvussa 6. Suurimmat virhemahdollisuudet AEB-järjestelmiä testatessa aiheutuvat huolimattomasta valmistelusta, sääolosuhteista sekä testin aikana kuljettajan toiminnasta.

Valmisteluvaiheessa esimerkiksi rengaspaineet asetetaan valmistajien suositusten mukaisiksi, ja suoritetaan jarrujen ja renkaiden lämmitys. Nämä kaksi asiaa vaikuttavat merkittävästi jarrutustulokseen. Rengaspaineet vaikuttavat kitkaan tienpinnan ja renkaan välillä. Jarrupalojen ja levyjen lämmitys parantaa puolestaan niiden välistä kitkaa. Mittarivirhe eliminoidaan GPS-pohjaisella nopeusmittauksella. Lisäksi järjestelmän antureiden puhdistus on tärkeää, jotta häiriötön toiminta varmistetaan. Sade voi häiritä kameran ja LIDARin toimintaa. Lisäksi suora auringonpaiste kameraan voi estää sen toiminnan.

Esteen kunto on myös syytä tarkastaa ennen testiä. Törmäyksien myötä esteen heijastavat pinnat voivat vaurioitua, jolloin este ei välttämättä anna riittäviä heijasteita tutkalle.

Ohjeet kuljettajan toiminnalle on esitelty luvussa 4.5. Esimerkiksi ESC-järjestelmän väärä asetus voi aiheuttaa AEB:n poiskytketymisen. Kuljettajan on testissä huolehdittava, että testiauton ja esteen keskilinjat ovat yhtenevät. Lisäksi nopeuden on pysyttävä toleranssin  $\pm 2$  km/h sisällä. Järjestelmien reagointi voi heikentyä, jos este ei jokaisen suorituksen jälkeen katoa ajoneuvon näkökentästä. AEB-varoituksen arviointi voi epäonnistua, jos AEB:n herkkyysasetus on väärä. Varoitus voi tulla esimerkiksi liian myöhään, jolloin järjestelmä saa liian huonon arvosanan.

Näiden virheiden estämiseksi testausohjeesta tehtiin yksityiskohtainen, mutta mahdollisimman helppolukuinen ja tiivis. Vaikeaselkoinen ohje jää helposti käyttämättä tai ymmärretään väärin. Lopulliset testiohjeet kesä- ja talviolosuhteisiin ovat liitteessä 2 ja 3.

## 5.5 Dokumentointi

Tulosten kannalta oleellista on dokumentoida tehdyt testit huolellisesti. Testeistä kertyneiden kokemusten perusteella päädyttiin siihen, että pöytäkirjaan kirjataan muistiinpanot jokaisesta onnistuneesta suorituskerrasta. Pöytäkirja tehtiin Excel-taulukkolaskentaohjelmalla, ja siihen sisällytettiin turhien dokumenttien välttämiseksi myös arvosanan laskenta. Arvosanan määräytymisperusteet on esitetty tarkemmin luvussa 6. Liitteessä 4 oleva pöytäkirja on suunniteltu siten, että se itsessään opastaa testin suorituksessa.

TM on media, joten testien ja tulosten kuvaaminen on erittäin tärkeää. Testivideoita voidaan laittaa lehden verkkosivuille lisämateriaaliksi havainnollistamaan testin suoritusta ja eri autojen toimintaa. Lisäksi kuvaaminen helpottaa lopullisen testiarvioinnin tekemistä, koska testin aikana voi keskittyä itse suoritukseen ja videolta voi vasta jälkeenpäin tarkastella esimerkiksi törmäysvaroitusta ja jarruvalojen toimintaa.

Kuvaaminen päätettiin järjestää usealla pienellä actionkameralla, joita on helppo kiinnittää eri kohtiin autoa, eikä niiden käyttöön tarvita erikseen kuvaajaa. Testin kannalta tärkein kamera kuvaa oikeasta etusivuikkunasta testirataa, jotta voidaan arvioida törmäysvaroituksen ennakko.

Toinen kamera päätettiin asentaa auton perään kuvaamaan jarruvaloja sekä vilkkuja, jotta nähdään, miten muita tienkäyttäjiä varoitetaan. Aiemmin tähän tarvittiin työntekijä tarkkailemaan toimintaa auton ulkopuolelta.

Kolmas kamera päätettiin asettaa kuvaamaan pysähtymistä ulkoa etu- tai takaviistosta. Tämä video kuvataan aina samasta paikasta ja se voidaan julkaista TM:n verkkosivuilla.

Videoiden lisäksi kuvataan stillkuvia, jotka ovat printtilehden kannalta tärkeitä. Kuvaamisen voi suorittaa melko sivusta, jotta auton ja esteen välinen etäisyys näkyy kuvasta mahdollisimman hyvin. Dramaattisimman kuvakulman saa kuvaajien kokemusten mukaan takaviistosta, koska sieltä auton perän nousu jarrutuksessa tapahtuvan painonsiirron vuoksi näkyy selkeästi ja lisäksi jarruvalot palavat.

## 5.6 Testiohje, -tarvikkeet sekä -radan pohjapiirros

Useiden parantelujen jälkeen päädyttiin lopullisen testimenetelmän ohjeisiin, jotka ovat siis liitteissä 2 ja 3. Lopullisen muotoilun myötä ohjeet mahtuvat yhdelle A4-arkille. Ohje on laadittu TM:n rutinoituneille testaajille, joten käyttäytymisestä moottoriradalla tai autojen kanssa toimimisesta ei ole erikseen ohjeistettu. Testiolosuhteiden erojen vuoksi ohje on erilainen kesällä ja talvella. Suurimmat erot Talvitestien ohjeistuksessa ovat testien pienempi aloitusnopeus (10 km/h) sekä kaukovalojen käyttö osassa testejä. Nopeudet ovat pienempiä, sillä tienpinnan kitka on talvisin heikompi. Todellisissa tilanteissa tapahtuvaa vaihtelua simuloidaan erilaisella valojen käytöllä.

Testiohjeen liitteeksi tehtiin lista testin tarvikkeista. Lista on liitteessä 5. Lisäksi testiradasta laadittiin pohjapiirros, josta ilmenevät esteen ja ratamerkkien sijoittelu etäisyyksiin. Pohjapiirros on liitteessä 6.

## 6 Arviointikriteerit

Talvi- ja kesäolosuhteissa tehtyjen alkutestien sekä myöhempien jatkotestien jälkeen päätettiin arviointikriteerit. Ne koostettiin edellä mainituista testeistä kertyneiden kokemusten ja havaintojen sekä haastattelujen (OTI) ja virallisten testien sekä AEB-rajoitteiden pohjalta. Arviointikriteerit ovat erilaiset kesä- ja talviolosuhteisiin. Numeraalisen arvosanan AEB-järjestelmälle tuottava arviointi perustuu objektiivisiin eli mitattaviin asioihin. Subjektivisia arvioita tehdään myös, mutta ne tuodaan esiin sanallisissa kommentteissa numeroarvioinnin yhteydessä. Näin eri syistä saman arvosanan saaneiden autojen eroja tai järjestelmään liittyviä omituisuuksia on mahdollista tuoda esiin. Arvioinnin

tueksi laadittiin sekä kesä- että talviolosuhteisiin erillinen arviointiohje, jotka ovat liitteissä 7 ja 8. Huomionarvoista on, että arviointikriteerit muuttuvat järjestelmien kehityksen myötä. Tässä esitellyt kriteerit edustavat siis versiota 1.0.

AEB-järjestelmät voisivat olla autovertailujen arvioinnissa osa ääritilannekäytöksen arvosanaa, koska AEB on hyvin tärkeä osa turvallisuutta. Toisaalta tulevaisuuden kehitys huomioiden ne voisi yhdistää myös automaattisen ajon tekniikoiden arvosanaan. On kuitenkin varmistettava, ettei huonosti toimivalla AEB:llä varustettu auto voi saada hyvää arvosanaa, jos esimerkiksi muut automaattisen ajon järjestelmät toimivat hyvin. Lopullinen päätöksenteko tässä asiassa jää TM:n toimitukselle.

AEB-järjestelmien toiminnassa oleellista on etenkin suurin nopeus, josta järjestelmä pysyy pysäyttämään auton. Suurista nopeuksista tapahtuvissa onnettomuuksissa loukkaantumisen tai kuoleman riski on aina suurempi. Tärkeää on myös toimintavarmuus. Edes kerran toimiva järjestelmä voi pelastaa ihmishenkiä, mutta mitä toistettavammin se toimii, sitä suurempi on todennäköisyys tähän. Lisäksi tärkeää on järjestelmän kyky tukea kuljettajan toimintaa etenkin nopeuksissa, joissa järjestelmä ei kykene pysäyttämään autoa. Siksi arvosteluun vaikuttaa AEB-varoituksen toiminta. Arvostelukohtien painoarvoiksi päätettiin edeltävien perustelujen myötä seuraavat:

- suurin pysähtymisnopeus: 50%
- toimintavarmuus: 30%
- AEB-varoituksen tyyppi: 10%
- AEB-varoituksen aikaisuus: 10%.

Lisäksi määriteltiin, että järjestelmä voi saada edellisten arvostelukohtien perusteella muodostuneeseen arvosanaan enintään 0,5 pisteen korotuksen, jos järjestelmässä on tiettyjä lisätoimintoja, jotka esitellään myöhemmin. Näiden lisäpisteiden avulla järjestelmän arvosana voi parantua enintään niin, että järjestelmä saa yhden TM-tähden enemmän kuin vastaavasti toimiva järjestelmä ilman lisäpisteitä.

Lopullinen arvosana muodostuu 0,1 pisteen tarkkuudella arvosteluasteikolle 4–10, jota TM käyttää muutenkin. Muuntotaulukko TM-tähdiksi on myös sama kuin kaikissa muisakin testeissä.

Pysähtymisnopeus arvioidaan kesäolosuhteissa välillä 25–120 km/h. Tämä on jaettu 13 osaan. 5 km/h suurempi pysähtymisnopeus nostaa arvosanaa 0,5:llä. Poikkeuksena ovat välit 80–95 km/h ja 100–120 km/h. Ensiksi mainitusta saa arvosanaksi aina 9,5 ja jälkimmäisestä 10.

Toimintavarmuus arvioidaan seitsemän peräkkäisen suorituskerran sekä varmuustestin perusteella. Yksi onnistunut jarrutus tuottaa arvosanan 4 ja seitsemän onnistunutta tuottaa arvosanan 10. Jos järjestelmä ei varmuustestissä toimi kahta kertaa samasta nopeudesta, vähennetään onnistuneista suorituksista yksi kappale, jolloin arvosana putoaa yhdellä. Järjestelmän toiminnaksi määritellään AEB-jarrutuksen alkaminen. Myös NHTSA käyttää arvostelussaan seitsemää peräkkäistä suoritusta.

AEB-varoitus on merkittävä nopeuksilla, joilla auto ei enää pysähdy esteeseen. Suoritusnopeus on 70 km/h. Tämä on nopeus, josta vielä vain harva auto pystyy pysähtymään AEB:n avulla. Nopeus 80 km/h olisi perusteltu, sillä se on Suomessa yleisnopeusrajoitus. Tämä nopeusraja on kuitenkin kriittinen AEB-järjestelmien kannalta, sillä monessa järjestelmässä paikallaan olevan kohteen havainnoinnin rajanopeus on 80 km/h.

AEB-varoitus voidaan antaa kolmella eri tyyppisellä varoituksella. Yleensä varoitus on ainakin audiovisuaalinen. Arvosanan 10 saa, jos testinopeudella varoitus annetaan kaikilla kolmella keinolla.

AEB-varoituksen aikaisuudessa merkittävää on, kuinka paljon ennen törmäyshetkeä varoitus annetaan. Tämä tarkastetaan testin jälkeen videolta. Video kuvataan auton oikean etusivuikkunan sisäpuolelle asennetulla kameralla. Kamera kuvaa testiradan varressa olevia merkkikeiloja, joista kukin merkitsee tiettyä matkaa ennen estettä. Varoitus tulkitaan alkaneeksi, kun ensimmäinen varoitusääni videolla kuuluu. Keilat asetetaan pisteisiin, jotka merkitsevät eri reaktioajoilla törmäyksen välttämiseen tarvittavaa matkaa.

Saksan liikenneministeriö on yhdessä BAST-tutkimuslaitoksen (Bundesanstalt für Straßenwesen) testannut esteen väistämiseen kuluvaan aikaan. Testit liittyvät henkilöautojen AEB-järjestelmiä koskevan UNECE-lainsäädännön valmisteluun. Testeissä todettiin, että esteen väistämiseen kuluu testikuljettajilta noin 0,78 sekuntia hieman auton massasta ja ajonopeudesta riippuen. Tavallisten kuljettajien kykyjen huomioimiseksi lopullinen suositus on varata väistöön 0,9 sekuntia. Ajoissa ei ole huomioitu kuljettajan reaktioaikaa. [55, s. 13.]

Pysähtymiseen kuluva aika nopeudesta 70 km/h laskettiin kaavasta 3.

$$t = \frac{v}{a} - \frac{v_0}{a} \quad (3)$$

$t$  on jarrutukseen kuluva aika  
 $v$  on loppunopeus  
 $v_0$  on alkunopeus  
 $a$  on hidastuvuus.

Siten pysähtymiseen kuluva aika on laskennallisesti 2,0 sekuntia.

Kuljettajien reaktioajat vaihtelevat lähteestä riippuen välillä 0,43–1,94 sekuntia [56, s. 4]. Arvostelun idea on, että mitä aiemmin varoitus alkaa, sitä parempi on arvosana. OTIn mukaan suomalaisessa liikenneonnettomuustutkinnassa käytetään yleisesti 1,0 sekunnin reaktioaikaa [57]. Toki, jos kuljettajan ei keskity ajamiseen, vaan on esimerkiksi ajatuksissaan, voi reaktioaika olla paljon huonompikin. Aiemmin mainitun lähteen mukaan reaktioaika voi myös olla 1,0 sekuntia nopeampi. Näiden seikkojen huomioimiseksi päätettiin testiin valitsemaan reaktioajat 0,5, 1,0, 1,5 ja 2,0 sekuntia. Arvosteluasteikko jakautui siis neljään.

Jos 2,0 sekunnin reaktioajalla este halutaan väistää nopeudella 70 km/h, on aikaa varattava 2,9 sekuntia. Jos puolestaan halutaan pysähtyä ennen estettä, on aikaa varattava 4,0 sekuntia. Nämä ajat matkoina laskettiin seuraavaksi.

Väistöön tarvittava matka laskettiin kaavasta 4.

$$S = vt \quad (4)$$

$S$  on matka  
 $v$  on nopeus  
 $t$  on aika.

Väistöön tarvittava matka on 56,4 metriä, jos oletetaan, että väistössä auton nopeus ei muutu.

Kuten luvun 5.2 taulukosta 2 havaittiin, on nopeudesta 70 km/h pysähtymismatka 19,6 metriä. Kun kaavasta 4 lasketaan 2,0 sekunnin reaktioajan aikana kuljettu matka, tarvitaan törmäyksen välttämiseen jarruttamalla yhteensä 58,5 metriä.

Nopeus 70 km/h on melko korkea, joten väistö on luonnollinen keino välttää uhkaava törmäys. AEB-varoituksen ennakosta saa arvosanan 10, jos varoitus alkaa ennen keilaa, joka sijaitsee 56,4 metrin päässä esteestä. Tällöin kuljettaja, jonka reaktioaika on 2,0 sekuntia, ehtii vielä välttämään törmäyksen väistämällä. Arvosanan 4 puolestaan saa, jos varoitus alkaa ennen 27,2 metrin kohdalla sijaitsevaa keilaa. Tällöin kuljettajalle jää enää 0,5 sekuntia aikaa reagoida.

Jatkotestien perusteella arviointi videolta onnistuu helposti, ja keilat sijaitsevat toisistaan riittävän etäällä. Merkeistä voisi kuitenkin tehdä selkeämmät. GoPron näkymästä on esimerkki kuvassa 21, jossa näkyy arviointiin käytettävät keiloista kolme. Esimerkin tapauksessa arvosana AEB-varoituksen ennakosta olisi 6.



Kuva 21. Esimerkki AEB-varoituksen ajankohdan määrittelystä videon avulla.

Aiemmin mainittuja lisäpisteitä AEB-järjestelmä voi saada seuraavista toiminnoista:

- varoitus aina ennen toimintaa 0,1 p
- turvavöiden esikiristys 0,1 p
- muun liikenteen varoitus esimerkiksi vilkkuvat jarruvalot 0,1 p
- auton pysyminen paikallaan pysähtymisen jälkeen 0,1 p
- AEB:n vakiovarusteisuus mallissa 0,1 p.

Aina ennen järjestelmän toimintaa annettava varoitus estää kuljettajan turhaa säikähtämistä ja antaa viitteen siitä, että auto suorittaa hallitusti jotain. Turvavöiden esikiristys puolestaan parantaa matkustajien turvallisuutta.



Koska AEB toimii yleensä aina yllättäen, on muun liikenteen varoitus tapahtuvasta hätäjarrutuksesta perusteltua. Aivan samalla tavalla kuljettajan aloittamasta hätäjarrutuksesta varoitetaan takana ajavia.

Kun järjestelmä on onnistuneesti pysäyttänyt auton, tulisi auton pysyä paikoillaan pysähtymisen jälkeen. Kuljettaja voi olla säikähtänyt tilanteesta, ja hänellä voi mennä hetki palauttaa toimintakykynsä. Jos auto lähtee heti pysähtymisen jälkeen liikkeelle, voi vältetty törmäys muuttua parkkipaikkakolhua vastaavaksi vaurioksi, joka vähintäänkin harmittaa.

Mitä useammin järjestelmä on vakiovarusteinen, sitä suurempi todennäköisyys on, että se auttaa välttämään onnettomuuksia.

Tämän objektiivisten arvostelun lisäksi tekstissä tuodaan sanallisesti esiin AEB-varoituksen tyyppi, sen havaittavuus eli onko se riittävän kuuluva tai näkyvä sekä varoituksen muuttuminen nopeuden kasvaessa. Lisäksi tekstissä mainitaan suurin pysähtymisnopeus tarkkuudella 5 km/h, toimintavarmuus, mahdolliset toimintarajat sekä järjestelmän vakio- tai lisävarusteisuus.

## 6.1 Arviointikriteerit talvella

Talvitestin arviointikriteereissä arvosteltava nopeusväli on 15–100 km/h. Heikommasta kitkasta johtuen järjestelmät eivät pysty pysäyttämään autoa kovin suurista nopeuksista. Välillä 70–75 km/h pysähtymisnopeuden arvosana on 9,5. Arvosanan 10 saa, mikäli auto pysähtyy onnistuneesti nopeudesta 80–100 km/h.

Toimintavarmuus testataan kesätestin tavoin seitsemällä suorituksella. Koska talvella on pimeää, on viidessä tilanteessa esteen takavalot kytketty päälle ja testiautossa käytetään lähivaloja. Koska liikenteessä voi sattua yllättäviä tilanteita, ajetaan kaksi suoritusta esteen takavalot poiskytkettynä. Tämä simuloi tilannetta, jossa edellä ajavan auton takavalot eivät pala tai ajoradalla on sammunut auto. Näissä kahdessa suorituksessa käytetään kaukovaloja.

AEB-varoitus arvioidaan nopeudella 70 km/h. Pimeyden vuoksi merkkikeiloihin on asennettava valot, jotta ne ovat havaittavissa videolta. AEB-varoitukseen tarvittava ennakko

on suurempi kuin kesäolosuhteissa, koska ajoradan kitka on paljon heikompi. Talvella väistöön arvioitiin tarvittavan 50 % enemmän aikaa kuin kesällä eli 1,35 sekuntia. Kun tähän laskee mukaan 2,0 sekunnin reaktioajan, on varoituksen ennakon oltava 3,35 sekuntia. Matkana tämä on 65,1 metriä. Jos varoitus alkaa ennen tässä kohti sijaitsevaa keilaa, saa AEB-varoituksen ennakosta arvosanan 10.

Lisäpisteiden maksimimäärä on sama 0,5 pistettä, mutta nyt 0,1 lisäpistettä voi saada myös lämmitetyistä tunnistimista tai kamerasta. 0,05 pisteen arvoisiksi jäivät auton pysyminen paikallaan pysähtymisen jälkeen sekä aina ennen toimintaa annettava varoitus.

Koko Talvitestin ajalta kerätään havaintoja järjestelmien toiminnasta. Esimerkiksi huurtuvat lasit tai pölyävä lumi voivat aiheuttaa järjestelmien poiskytketymisiä, joista kerrotaan tekstissä.

## 6.2 Arvioinnin ongelmat

Arvioinnin tulosten samankaltaisuus voi muodostua ongelmaksi autovertailun autojen välille. Perinteisissä vertailuissa autot edustavat samaa koko- ja hintaluokkaa. Suurimmat erot autoissa ovatkin eri hintaluokkien edustajien välillä, koska järjestelmät on usein toteutettu eri tekniikoilla. Kustannussyistä edullisessa autossa käytetään yksinkertaisempaa järjestelmää kuin kalliimmassa. Testien myötä kertyvät kokemukset auttavat kehittämään arviointia paremmaksi. Odotettavissa on, että etenkin testitilanteiden monipuolistus lisää tulosten eroja.

Talvitestissä pimeys ja liukkaus tuonee eroja järjestelmien toimintaan, kuten aiempinakin vuosina. Talvitestissä myös perinteisen vertailun kaava rikkoutuu, sillä testin voitosta kiisaavat tasaväkisesti hyvin erilaiset ja eri hintaiset autot.

## 7 Käyttöönotto

AEB-testi otettiin osaksi TM:n vertailutestin ohjelmaa alkusyksystä 2018. Ensimmäistä kertaa se vaikutti arviointiin TM:n numeron 20/2018 vertailutestissä. Alastaron moottoriradalla tapahtuneessa käyttöönotossa (kuva 22) käytettiin yhtä siirrettävää jarrutusmerkkiä ja se todettiin hyväksi ratkaisuksi, sillä kuljettajan ei tarvitse tarkkailla kuin yhtä

merkkiä. Esteen herkkyyttä tuulelle vähennettiin vaahtomuovisilla tuulijalaksilla, jotka osoittautuivat toimiviksi, eikä este enää kaatunut tuulessa. Kova tuulenpuska voi kuitenkin edelleen siirtää estettä.



Kuva 22. AEB-testiradan mittaus ja merkitseminen on käynnissä Alastaron moottoriradalla.

Testin aikana havaittiin, että manuaalivaihteisissa autoissa kytkinpolkimen painaminen kesken AEB-jarrutuksen voi keskeyttää jarrutuksen kuten Hyundai i30:ssä. Se siis voi olla merkki järjestelmälle kuljettajan aktiivisesta toiminnasta. Testiohjeeseen tarkennettiin, ettei kytkinpoljinta saa painaa AEB-jarrutuksen aikana. Muilta osin testimenetelmä ohjeineen todettiin toimivaksi.

Käyttöön otossa päätettiin, että AEB-varoitusta arvioitaessa tavoitenopeus on oltava 10 metriä ennen ensimmäistä arviointiin käytettävää merkkikeilaa. Varoituksen arviointi todettiin toimivaksi. Mielenkiintoinen havainto oli, että Ford Focusin, Hyundai i30:n ja Kia Ceedin varoitus aikaistui arvioinnin toisella suorituskerralla. Selitystä tähän ei löytynyt. Eri arvosanan eri suorituseroilla saaneille autoille laskettiin arvosanoista keskiarvo.

AEB-järjestelmien kokonaisarvioinnissa autoille saatiin eroja. Toiminnan eroavaisuudet liittyivät autoissa käytettyihin anturitekniikoihin. Parhaiten toimivat Ford Focus, Honda Civic sekä Hyundai i30, joissa oli sekä kamera että tutka. Pelkällä kameralla varustettu

Kia Ceed toimi hieman heikommin ja pelkällä tutkalla varustettu VW Golf kaikkein heikoiten.

Arvioinnin täyttäminen pöytäkirjaan olisi miellyttävämpää ja helpompaa, jos erillistä arviointiohjetta ei tarvittaisi. Arviointitaulukon voisi rakentaa niin, että suoraan testin tulokset syöttämällä saataisiin oikea arvosana. Tämän toteuttaminen jätettiin TM:n toimitukselle.

Testatuista autoista Honda Civicin AEB-järjestelmä meni vikatilaan kesken kuudennen suorituksen ja lakkasi toimimasta. Maahantuojan mukaan toistuvat peräkkäiset AEB-järjestykset aiheuttivat tämän. Järjestelmän toimintakuntoon saattaminen vaatii vikamuistinnollauksen merkkitesterillä. Tämän vuoksi Hondan testiä ei saatu suoritettua loppuun. Jatkossa vertailukyselyyn kannattaisi liittää tiedustelu tästä, sillä esimerkiksi Talviteissä maahantuojan lähin edustaja on todella kaukana.

Tämä ja muita tietoja on järkevää pyytää jo ennen auton saapumista testiin, joten koeajoja vertailukyselyihin on liitettävä seuraavat kysymykset:

- Voiko AEB:n toistuva, peräkkäinen aktivoituminen aiheuttaa vikatilan?
- Miten edellinen voidaan välttää?
- Mitä tunnistintekniikoita AEB hyödyntää?
- Millä nopeuksilla AEB toimii?
- Ovatko AEB:n toimintanopeudet erilaiset paikallaan oleville tai liikkuville ajoneuvoille?
- Onko järjestelmässä jalankulkijatunnistus?
- Mitkä ovat jalankulkijatunnistuksen nopeusrajat?
- Onko AEB kyseisen mallin vakiovaruste?
- Jos AEB on lisävaruste, paljonko se maksaa?
- Ovatko hätäjarrutuksessa automaattisesti kiristyvät turvavyöt vakiovaruste?

## 8 Tulevaisuudessa tapahtuva kehitys

Edellä esitetty testimenetelmä sekä arviointikriteerit kehittyvät tulevaisuudessa AEB-järjestelmien kehityksen myötä. Kun AEB:n toiminnot monipuolistuvat, huomioidaan se testitilanteiden valinnassa. Odotettavissa on noususuuntaista kehitystä pysähtymisnopeuksissa, joka asettaa paineita arvostelun kiristämiselle.

Kaikkeaa on mahdotonta testata etukäteen, joten huolellisesti suunniteltu testi- ja arviointimenetelmä testataan lopullisesti vasta käytön myötä. Käytössä havaitut puutteet tai tarpeet esimerkiksi arvioinnin kiristämiseksi on kirjattava ylös. Mahdollista on, että testiä uudistetaan joka vuosi. Näin pysytään kehityksessä mukana. AEB-testin lanseerauksen yhteydessä lukijoille on painotettava, että monista muista testeistä poiketen AEB-testi sekä sen arviointi kehittyy järjestelmien mukana jatkuvasti, eivätkä järjestelmän saamat arvosanat ole vuodesta toiseen vertailukelpoisia. Toisaalta lukijoiden mielenkiinto pysyy yllä, kun testin kehittymisen myötä mukaan tulee uusia tilanteita ja todennäköisesti uusia havaintoja sekä suuria eroja eri autojen välillä.

Testimenetelmän jatkokehityksessä insinööriyön jälkeen kannattaa ensimmäisenä panna jalankulkijatestaukseen (kuva 23). Hyvään arvosanaan on vaadittava hyvin toimiva jalankulkijatunnistus. Jalankulkijanukke voi olla pystyssä kävelevän ihmisen sijaan kumarassa kulkevan vanhuksen muotoinen. Jalankulkijanuken muotoa häivyttää selässä oleva reppu tai kädessä oleva ostoskassi. Lisäksi tulevaisuuden kehityksen myötä voidaan jalankulkijanukke tuoda auton näkökenttään myöhemmässä vaiheessa, jolloin aikaa toimintaan ei jää yhtä paljoa. Myös pyöräilijätunnistuksen testaaminen on mahdollista.



Kuva 23. Alustavat jalankulkijatestit [48].

Mahdollista olisi myös luoda kaksiosainen testitilanne, jossa on ensin selvittävä kaistalla olevasta jalankulkijaesteestä esimerkiksi AEB-varoituksen jälkeen suoritettulla väistöllä viereiselle kaistalle. Viereisellä kaistalla voisi olla autoeste, jota ennen testiauton AEB:n olisi kyettävä pysäyttämään auto. Jo nyt Lexus LS kykenee suorittamaan jalankulkijan väistön automaattisesti [58].

Kun jalankulkijatesti on saatu käyttöön, voitaisiin autoestettä päivittää pidemmän malliseksi, jotta osittaisten kohtaamistilanteiden testaaminen onnistuu. Testiradan tai esteen viereen on mahdollista pysäköidä muita autoja, jotta järjestelmän on vaikeampi tunnistaa törmäyskohde.

Ensimmäiset paineet testin vaikeuttamiselle tulevat todennäköisesti kesäolosuhteissa, sillä optimiolosuhteissa AEB-järjestelmät toimivat jo melko hyvin. Esimerkiksi jalankulkijatesti on helpompi ottaa aluksi käyttöön kesällä, sillä Talvitestiin mukaan otettavan laitteiston määrä on aina rajallinen. Vaikka valtaosa TM:n autotesteistä tehdään kesäolosuhteissa, ei Talvitestin merkitystä missään nimessä ole syytä väheksyä. Suuren osan vuodesta Suomessa vallitsee kaikkea muuta paitsi optimaaliset ajo-olosuhteet. Optimiolosuhteissa kuljettajan on helpointa toimia itse, joten AEB-järjestelmästä on kaikkein eniten hyötyä pimeissä ja muuten heikoissa olosuhteissa. Juuri silloin moni järjestelmä toimi erittäin huonosti vuoden 2018 Talvitestissä. Toivottavasti järjestelmien kehittymisen myötä myös talviolosuhteissa tehtäviin testeihin aletaan kaivata vaikeutusta.

Arvostelun kiristäminen kesäolosuhteissa voitaisiin tehdä helposti niin, että nopeuksien arvostelussa kaikkein pienimmät nopeudet jäisivät vaille arvosanaa. Tilaa asteikon siirtämiselle on, sillä nyt nopeusväli 100–120 km/h vastaa arvosanaa 10. Jalankulkijatestin käyttöönoton myötä on syytä harkita arvostelukohtien painoarvot uudestaan.

Lisää vaikeusastetta etenkin pelkkään tutkaan perustuvalle järjestelmälle toisi tilanne, jossa auto ja jalankulkija ovat melko lähekkäin. Auton tuottamasta suuremmasta heijasteesta huolimatta järjestelmän tulisi havaita edessä oleva jalankulkija ja pysähtyä onnistuneesti. Tilanne voi syntyä kadun laidalla, kun kuljettaja on nousemassa pysäköityyn autoon.

Eräs mielenkiintoinen mahdollisuus olisi esimerkiksi hirvieläinten tunnistuksen testaaminen. Testille ei toistaiseksi ole käyttöä, sillä ominaisuus on toistaiseksi autoissa harvillisen harvinainen.

AEB-testi olisi mielenkiintoista suorittaa käyttöttestiautoille testin aluksi ja testin jälkeen. Näin voitaisiin havainnoida kulumisen tuomia muutoksia järjestelmien toiminnassa. Kulunut tuulilasi voi vaikuttaa kameran toimintaan ja toisaalta tuulilasin vaihdon jälkeen tehty anturien kalibrointi voi myös vaikuttaa toimintaan.

## 9 Kustannukset

Työn eri vaiheissa on jo perusteltu ratkaisuja kustannustehokkuudella. Tässä luvussa käydään läpi yhteen testiin kuluva aika sekä pohditaan esteiden kehitystyön kustannuksia.

AEB-testaus on luonnollista yhdistää väistökoepäivään, sillä testit suoritetaan samoilla alueilla. Henkilöstöä ei välttämättä tarvita enempää, mutta este on kuljetettava paikalle pakettiautolla. Testejä voi osittain suorittaa yhtä aikaa, sillä radat eivät risteä. Ongelma on lähinnä testihenkilöstön riittävyys kahteen yhtäaikaiseen testiin. Kuormalla suoritettava väistökoe sitoo yleensä viisi henkilöä. AEB-testi sitoo puolestaan kaksi ihmistä. Testialueen vuokra-aika siis pitenee AEB-testien käyttöönoton myötä jonkin verran.

Autolle tehtävät valmistelut ovat myös osin yhtenevät väistökokeen kanssa. Autot valmistellaan mahdollisimman pitkälle esimerkiksi TM:n autolaboratoriossa, jotta testiradalla valmisteluihin ei kulu turhaan aikaa. Valmisteluihin on hyvä varata aikaa noin 10 minuuttia.

Jos testirataa ei ole merkitty alueelle aiemmin, menee mittaamisessa ja merkitsemisessä noin puoli tuntia. Jos rata on merkitty, ei radan valmisteluun kulu kuin noin 6 minuuttia. Testiradalla tehdään nopeita mittalaitteiden ja kameroiden asennuksia, joihin riittää 5 minuuttia per auto. Yhteen suoritukseen eli yhteen AEB-jarrutukseen kuluu aikaa vauhdinottoineen ja muistiinpanoineen noin yksi minuutti. Lopullisen testiohjeen mukaan suorituksia kertyy vähintään 10 (talvi) tai 12 (kesä), joten itse testiin kuluu 10 tai 12 minuuttia. Suorituskertoja voidaan tarvita esimerkiksi kuljettajan virheiden vuoksi enemmänkin, joten voidaan karkeasti arvioida, että testiin kuluu keskimäärin 15 minuuttia.

Vuoden 2018 Talvitestissä oli mukana 14 autoa. Jos kaikissa olisi ollut AEB, olisi testaamiseen kulunut aikaa ilman taukoja minimissään 4 tuntia, sillä rata olisi pitänyt mitata ennen testien alkua.

Jos testaamista halutaan nopeuttaa, on mahdollista, että nopeuden nosto tapahtuu 10 km/h pykälissä, jolloin suorituskertoja kertyy vähemmän. Etenkin, jos auto pienissä nopeuksissa pysähtyy helposti, voidaan seuraavaksi ajaa 10 km/h suuremmalla nopeudella. Rajanopeutta lähestyttäessä on mielekästä nostaa nopeutta kerrallaan vain 5 km/h, jottei esteeseen osuta turhaan. Jokaisen osuman jälkeen este on vähintään

asetettava uudestaan paikoilleen. Testeistä kertyneen käytännön kokemuksen perusteella on todettava, että toistoja on oltava, sillä heikko toimintavarmuus on nykyisten järjestelmien ongelma.

Testien tuloksena syntyy videomateriaalia, joka on käytävä läpi arvostelun onnistumiseksi. Tähän kuluu tietenkin aikaa, mutta esimerkiksi AEB-varoituksen arvostelu videon ja merkkikeilojen avulla on paljon tarkempaa kuin pelkällä subjektiivisella arviolla.

Jalankulkijatestaamisen kehitys rajattiin ilmenneiden vaikeuksien vuoksi työn ulkopuolelle. Kun kehitystyö on tarpeeksi pitkällä, on jalankulkijatestaus yhdistettävä peräänajotestiin. Tämä on tehtävä järkevästi, jotta testiin kuluva aika pysyy kohtuullisena. On pohdittava, testataanko jalankulkijan havainnointia esimerkiksi vain yhdellä tai kahdella eri tilanteella tai nopeudella. Arvostelukriteeri voisi olla yksinkertaisesti hyväksytty tai hylätty. Yhteen suoritukseen kuluva aika on samaa luokkaa kuin peräänajotestissä. Testin valmistelu vaatii hieman aikaa, sillä jalankulkijanukke ja sen liikutteluun käytettävät välineet on myös koottava.

Autoesteen rakentamisesta on selvitty kohtuullisin kustannuksin. Tarvikkeet eivät ole olleet kalliita, ja rakentaminen on voitu tehdä itse. Koottavan esteen osien leikkaaminen vaahtomuovista tosin kesti yllättävän kauan.

Jalankulkijaesteen rakentaminen itse saattaa olla mahdollista, mikä tekisi siitäkin edullisen. Jos lopulta joudutaan hankkimaan valmis este, kertynee sille hintaa tuhansia euroja. Toisaalta sijoitus AEB-järjestelmien testaamiseen on kannattavaa, sillä se on tie autonomisten autojen testaamiseen ja siten siis selkeä panostus tulevaisuuteen. Kunnollisilla, tarkoituksenmukaisilla testivälineillä saa varmasti oikeanlaisia tuloksia.

## 10 Yhteenveto

Tämän insinööriyön tavoitteena oli kehittää TM:lle AEB-järjestelmien testi- ja arviointimenetelmä, joka perustuisi todellisiin liikenteen vaaratilanteisiin sekä tuottaisi vertailukelpoisia tuloksia. Menetelmän oli myös oltava kustannustehokas ja helppokäyttöinen. Tulevaisuudessa tapahtuvan kehityksen huomioimiseksi oli mahdollistettava testin ja arviointikriteerien päivittäminen. Työssä sivuttiin myös testeissä tarvittavien törmäysesteiden suunnittelua ja valmistusta.



Työn tuloksena valmistui testi- ja arviointimenetelmä AEB-järjestelmien testaamiseksi peräänajotilanteissa sekä talvi- että kesäolosuhteissa. Testimenetelmä otettiin käyttöön alkusyksystä 2018, ja ensimmäistä kertaa AEB-testi vaikuttaa arviointiin autojen vertailutestissä TM:n numerossa 20/2018.

Työ alkoi perehtymisellä AEB-järjestelmien toimintaan sekä niissä hyödynnettävään anturitekniikkaan. Tämän jälkeen perehdyttiin olemassa oleviin AEB-testeihin, joita tekevät Euro NCAP, IIHS, NHTSA ja UNECE. Euro NCAP:n testit osoittautuivat kaikkein monipuolisimmiksi. Näiden lisäksi tutustuttiin tietoihin Suomen liikenneonnettomuuksista.

Seuraavaksi luotiin alustava testimenetelmä, jota testattiin käytännössä sekä talvi- että kesäolosuhteissa. Nämä käytännön AEB-testit nostivat esiin kysymyksiä sekä selkeästi parannusta vaativia seikkoja testimenetelmässä. Kun testimenetelmä todettiin parannusten jälkeen toimivaksi, päätettiin arviointikriteerit ja suoritettiin käyttöönotto.

Käyttöönotto sujui ilman suuria ongelmia, ja saadut arvosanat toivat autojen erot esiin. Voidaan siis todeta, että kehitystyö onnistui ja asetettuihin tavoitteisiin päästiin lukuun ottamatta jalankulkijatestausta. Suurimmat vaikeudet jalankulkijatestaamisessa ovat oikeanlaisen jalankulkijanuken kehitys sekä jalankulkijaa suojaavien aktiivisten turvalaitteiden deaktivointi testin ajaksi.

Jalankulkijatestauksen sisällyttäminen testiin on tärkeää todellisten tilanteiden huomiointiksi. Suomessa ihmisiä kuolee henkilöautojen ja jalankulkijoiden välisissä onnettomuuksissa huomattavasti enemmän kuin henkilöautojen välisissä peräänajoissa. Jalankulkijanuken kehityksessä on huomioitava, että jalankulkija on harvoin täsmälleen samassa asennossa tai tietyn muotoinen. Usein jalankulkijalla on myös kantamuksia, jotka haittaavat hahmontunnistusta.

Todellisia ajo-olosuhteita huomioidaan esimerkiksi Talvitestissä tekemällä AEB-testit liukkaalla tienpinnalla ja pimeässä käyttäen lähi- sekä kaukovaloja. Myös edellä menevän auton takavalot ovat osassa testejä sammutettuina. Todenmukaisuuden kannalta toinen keskeinen asia on, että testinopeudet ulottuvat aina maantienopeuksiin asti. Maanteillä tapahtuu vakavia peräänajoja, kuten luvun 4 esimerkkitapauksesta ilmenee. Todellisten tilanteiden huomiointia voisi entisestään parantaa lisäämällä peräänajotestiin osittaisen kohtaamisen tilanteita, mutta se vaatisi suuremman autoesteen rakentamista.

Tulosten vertailukelpoisuus varmistettiin mahdollisimman tarkkoilla ja selkeillä testi- sekä arviointiohjeilla. Ne myös ohjaavat testaajia huomioimaan vain tärkeät asiat. Arvioinnin subjektiivisuus minimoitiin, jotta tulokset eivät vaihtelisi testin tekijästä riippuen. Eri testi-alueilla saadut tulokset eivät poikenneet toisistaan merkittävästi. Suurimmat erot etenkin talviolosuhteissa aiheutuivat valaistusolosuhteiden muuttumisesta; pimeässä monien autojen suoritus huonontui merkittävästi.

Testitilanteet on rajattu ja niissä on keskitytty AEB:n kannalta olennaisten asioiden huomioimiseen, kuten suurimman pysähtymisnopeuden etsimiseen sekä toimintavarmuuden testaamiseen. Nyt kyetään tekemään riittävät testit kuluttamatta turhaa aikaa, jolloin työskentely on kustannustehokasta. Myös tarvittavan testihenkilöstön määrä on minimoitu. Testin ajamisessa vaaditaan etenkin suuremmissa nopeuksissa keskittymistä ja nopeita reaktioita, joten avustajan rooli on tärkeä ja perusteltu.

Testin ja arvioinnin päivitys onnistuu esimerkiksi niin, että testiä päivitetään vuosittain. Järjestelmien kehittyessä toimintavarmuus toivottavasti paranee, jolloin toistojen määrää voidaan vähentää ja ottaa tilalle monipuolisempia testitilanteita. Näin testiin käytettävä aika ei kasva hallitsemattomasti.

Aihe oli haastava, sillä AEB-järjestelmät ovat yleistyneet vasta viime vuosina. Siksi pohjatietoa ja lähdemateriaalia oli yhdisteltävä useista eri lähteistä. Käytännön testit herättivät monenlaisia kysymyksiä ja niihin oli usein vaikea löytää vastauksia. Tärkeiksi lähteiksi osoittautuivat autoalan asiantuntijat. Heitä haastatteleamalla sain vastauksia kysymyksiini, ja samalla sain uusia kontakteja autoalalle Suomessa ja Euroopassa. Oli myös ilahduttavaa huomata, että tiedusteluihini suhtauduttiin pääosin myönteisesti. Työn myötä opin tuntemaan AEB-järjestelmien toimintaan vaikuttavia tekijöitä laajasti ja perehdyin syvällisemmin ajoneuvojen testimenetelmän kehityksen kannalta tärkeisiin seikkoihin.

On mielenkiintoista seurata, miten AEB ja muut kuljettajaa tukevat järjestelmät (ADAS) kehittyvät. Kehityksen loppuhuipentumana pidetään yleisesti autonomista autoa. Se, miten kauan aikaa kehitykseen menee, jää nähtäväksi.

## Lähteet

- 1 New Leaf charging ahead with 5 star result in toughest safety tests to date. 2018. Verkkoaineisto. Euro NCAP. <<https://www.euroncap.com/en/press-media/press-releases/new-leaf-charging-ahead-with-5-star-result-in-toughest-safety-tests-to-date/>>. Luettu 29.7.2018.
- 2 Kohonen, Jari. 2017. Tekniikan Maailma, Otavamedia. Nro 1/18, 28.12.2017.
- 3 Pentikäinen, Markus. 2017. Tekniikan Maailma, Otavamedia. Nro 20/17, 1.11.2017.
- 4 Volvo Vida -korjaamo-ohjelmisto. 18.6.2018. Volvo.
- 5 The water in you. 2018. Verkkoaineisto. U.S. Geological Survey. <<https://water.usgs.gov/edu/propertyyou.html>>. 23.7.2018. Luettu 26.7.2018.
- 6 Alanko, Pekka. 2018. Kehityspäällikkö, Diagno Finland Oy, Espoo. Sähköposti-keskustelu 13.6.2018.
- 7 Volvo XC90 käyttöopas. 2018. Volvo.
- 8 V90CC-tukijärjestelmät. Koulutusmateriaali. Volvo Car Finland.
- 9 IntelliSafe factsheet SPA. 2018. Verkkoaineisto. Volvo Car Group. <<https://www.media.volvocars.com/global/en-gb/download/224409>>. 21.2.2018. Luettu 19.6.2018.
- 10 Euro NCAP 2025 Roadmap. 2017. Verkkoaineisto. Euro NCAP. <<https://cdn.euroncap.com/media/30700/euroncap-roadmap-2025-v4.pdf>>. 12.9.2018. Luettu 12.6.2018.
- 11 Helbig, Jörg. Objective Testing of Autonomous Emergency Braking Systems for the EuroNCAP AEB rating. Braunschweig: Vehico GmbH.
- 12 Camera Radar Fusion Project with TI Automotive Processors. 2017. Verkkoaineisto. Texas Instruments. <<https://www.youtube.com/watch?v=sPQGtIXaXqA>>. 13.6.2017. Luettu 26.6.2018.
- 13 Sensor Systems. Koulutusmateriaali. Volvo Car Finland.
- 14 Automotive Handbook. 2014. Karlsruhe: Robert Bosch GmbH.

- 15 Shaffer, Brian. 2017. Why are automotive radar systems moving from 24GHz to 77GHz?. Verkkoaineisto. <[https://e2e.ti.com/blogs\\_/b/behind\\_the\\_wheel/archive/2017/10/25/why-are-automotive-radar-systems-moving-from-24ghz-to-77ghz](https://e2e.ti.com/blogs_/b/behind_the_wheel/archive/2017/10/25/why-are-automotive-radar-systems-moving-from-24ghz-to-77ghz)>. 25.10.2017. Luettu 20.6.2018.
- 16 How does LiDAR work?. 2018. Verkkoaineisto. LiDAR UK. <<http://www.lidar-uk.com/how-lidar-works/>>. Luettu 8.8.2018.
- 17 Mazda CX-5 Omistajan käsikirja. 2014. Mazda.
- 18 Scan to me. Verkkoaineisto. Audi AG. <<https://audi-encounter.com/en/Laserscanner>>. Luettu 10.8.2018.
- 19 Audi A8 (type 4N) driver assistance systems Self Study Programme 668. 2017. Ingolstadt: Audi AG.
- 20 Koisaari, Tapio. 2018. Yhteyspäällikkö, OTI, Helsinki. Keskustelu 6.6.2018.
- 21 Henkilöautojen ensirekisteröinnit merkeittäin vuosina 2016 ja 2017. 2018. Verkkoaineisto. Autoalan tiedotuskeskus. <[http://www.aut.fi/tilastot/ensirekisterointi/henkiloautojen\\_vuosittaiset\\_merkki\\_ja\\_mallitilastot/2017/henkiloautojen\\_ensirekisterointit\\_merkeittain\\_2017](http://www.aut.fi/tilastot/ensirekisterointi/henkiloautojen_vuosittaiset_merkki_ja_mallitilastot/2017/henkiloautojen_ensirekisterointit_merkeittain_2017)>. 29.1.2018. Luettu 15.6.2018.
- 22 Pre-collision System Description. 29.6.2018. Toyota TechDoc.
- 23 Schedule for amendment of Regulation No. 131 (AEBS). 2017. Verkkoaineisto. UNECE. <<https://wiki.unece.org/download/attachments/44269589/AEBS-01-02-r1%20%28Secretary%29%20Roadmap.pdf?api=v2>>. 31.3.2017. Luettu 14.6.2018.
- 24 Addendum: 130 - Regulation: 131 Revision 1. Uniform provisions concerning the approval of motor vehicles with regard to the Advanced Emergency Braking Systems (AEBS). 2014. UNECE.
- 25 Mercedes-Benz Sprinter 516 CDI. 2016. Verkkoaineisto. Daimler AG. <<https://media.daimler.com/marsMediaSite/en/instance/picture/Mercedes-Benz-Sprinter-516-CDI.xhtml?oid=10206826>>. 29.8.2018. Luettu 10.8.2018.
- 26 Ekholm, Malin. 2018. Turvallisuuskeskuksen johtaja, Volvo Car Group, Göteborg, Ruotsi. Haastattelu 18.6.2018. (Haastattelija: tiedotusjohtaja Thomas Hallbäck, Volvo Car Finland.)
- 27 Euro NCAP Test Protocol - AEB VRU systems. 2017. Verkkoaineisto. Euro NCAP. <<https://cdn.euroncap.com/media/32279/euro-ncap-aeb-vru-test-protocol-v202.pdf>>. 1.11.2017. Luettu 12.6.2018.

- 28 Soft Car 360. 2017. Verkkoaineisto. Dynamic Research Inc. <<http://www.dri-ats.com/soft-car-360/>>. Luettu 2.8.2018.
- 29 Euro NCAP Test Protocol - AEB systems. 2017. Verkkoaineisto. Euro NCAP. <<https://cdn.euroncap.com/media/32278/euro-ncap-aeb-c2c-test-protocol-v201.pdf>>. 1.11.2017. Luettu 13.6.2018.
- 30 The Reliable and Reusable 3D Vehicle Target. Verkkoaineisto. Dynamic Research Inc. <<http://www.dri-ats.com/wp-content/uploads/2017/05/19.jpg>>. Luettu 8.8.2018.
- 31 Articulated Pedestrian Target Specifications. 2015. Verkkoaineisto. ACEA. <[http://www.acea.be/uploads/publications/Articulated\\_Pedestrian\\_Target\\_Specifications\\_version\\_1.0.pdf](http://www.acea.be/uploads/publications/Articulated_Pedestrian_Target_Specifications_version_1.0.pdf)>. 21.10.2015. Luettu 3.7.2018.
- 32 Euro NCAP Film & Photo Protocol. 2016. Verkkoaineisto. Euro NCAP. <<https://cdn.euroncap.com/media/25836/film-and-photo-protocol-v12-december-2016.pdf>>. 1.12.2016. Luettu 13.6.2018.
- 33 Euro NCAP Crash Test of Volvo XC40. 2018. Verkkoaineisto. Euro NCAP. <<https://www.youtube.com/watch?v=PEk1GHbPfVQ&frags=pl%2Cwn>>. 18.7.2018. Luettu 8.8.2018.
- 34 2013 AEB Tests. 2013. Verkkoaineisto. Euro NCAP. <<https://www.euroncap.com/en/vehicle-safety/safety-campaigns/2013-aeb-tests/>>. Luettu 14.6.2018.
- 35 Euro NCAP Assessment Protocol - Safety Assist. 2017. Verkkoaineisto. Euro NCAP. <<https://cdn.euroncap.com/media/32283/euro-ncap-assessment-protocol-sa-v802.pdf>>. 1.11.2017. Luettu 14.6.2018.
- 36 Euro NCAP Crash Test of Nissan LEAF. 2018. Verkkoaineisto. Euro NCAP. <<https://www.youtube.com/watch?v=CVeSCjgACiA&frags=pl%2Cwn>>. 25.4.2018. Luettu 8.8.2018.
- 37 Euro NCAP Assessment Protocol - Pedestrian Protection. 2017. Verkkoaineisto. Euro NCAP. <<https://cdn.euroncap.com/media/32282/euro-ncap-assessment-protocol-pp-v902.pdf>>. 1.11.2017. Luettu 15.6.2018.
- 38 Forward Collision Warning System Confirmation Test. 2013. Verkkoaineisto. NHTSA. <[https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwjV8\\_O-t93cAhXEGe-wKHVxpBxEQFjAAegQIBxAC&url=https%3A%2F%2Fwww.safercar.gov%2Fstaticfiles%2Fsafercar%2FNCAP%2FFCW\\_NCAP\\_Test\\_Procedure\\_2-7-2013.pdf&usg=AOvVaw3edTK84THZhBZQ0Zqn9Vgx](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwjV8_O-t93cAhXEGe-wKHVxpBxEQFjAAegQIBxAC&url=https%3A%2F%2Fwww.safercar.gov%2Fstaticfiles%2Fsafercar%2FNCAP%2FFCW_NCAP_Test_Procedure_2-7-2013.pdf&usg=AOvVaw3edTK84THZhBZQ0Zqn9Vgx)>. 1.2.2013. Luettu 20.6.2018.

- 39 Autonomous Emergency Braking Test Protocol (Version I). 2013. Verkkoaineisto. IIHS. <[http://www.iihs.org/media/a582abfb-7691-4805-81aa-16bbdf622992/REo1sA/Ratings/Protocols/current/test\\_protocol\\_aeb.pdf](http://www.iihs.org/media/a582abfb-7691-4805-81aa-16bbdf622992/REo1sA/Ratings/Protocols/current/test_protocol_aeb.pdf)>. 1.10.2013. Luettu 20.6.2018.
- 40 Cadillac-track. Verkkoaineisto. IIHS. <<http://www.iihs.org/media/36280531-87c9-44c4-8401-d527d66f0e92/IIxuxQ/Status%20Report/50-10/story-2-slideshow/Cadillac-track.jpg>>. Luettu 14.8.2018.
- 41 Front Crash Prevention Tests. 2018. Verkkoaineisto. IIHS. <<http://www.iihs.org/iihs/ratings/ratings-info/front-crash-prevention-tests>>. Luettu 20.6.2018.
- 42 Cicchino, Jessica B. 2016. Effectiveness of forward collision warning and autonomous emergency braking systems in reducing front-to-rear crash rates. Arlington: IIHS.
- 43 Study Confirms High Effectiveness of Low Speed Autonomous Emergency Braking (AEB). 2015. Verkkoaineisto. Euro NCAP. <<https://www.euro-ncap.com/en/press-media/press-releases/study-confirms-high-effectiveness-of-low-speed-autonomous-emergency-braking-aeb/>>. 13.5.2015. Luettu 30.7.2018.
- 44 Koisaari, Tapio. 2018. Yhteyspäällikkö, OTI, Helsinki. Sähköpostikeskustelu 26.6.2018.
- 45 Liikenneonnettomuuksien tutkijalautakunnan tutkintaselostus. 4.10.2013. Luottamuksellinen.
- 46 Liikenneonnettomuuksien tutkijalautakunnan tutkintaselostus. 4.10.2013. Luottamuksellinen.
- 47 Biswanger, Henrik. 2018. Testi-insinööri, Asta Zero, Sandhult, Ruotsi. Sähköpostikeskustelu 12.6.2018.
- 48 Laitinen, Olli. 2018. Tekniikan Maailma, Otavamedia. 11.7.2018.
- 49 Wimmer, Thomas. 2018. Projektipäällikkö, 4activeSystems GmbH, Traboch, Itävalta. Sähköpostikeskustelu 13.8.2018.
- 50 Riley, B. 2015. Formula Sae Anthropometric Reference Data 5th Percentile Female & 95th Percentile Male. Verkkoaineisto. Formula SAE. <[https://www.fsaeonline.com/content/FSAE%20Rules95th\\_2016.pdf](https://www.fsaeonline.com/content/FSAE%20Rules95th_2016.pdf)>. 23.11.2015. Luettu 13.8.2018.
- 51 Kohonen, Jari. 2018. Tekniikan Maailma, Otavamedia. Nro 4/18, 21.2.2018.

- 52 Pitkäljärvi, Jari. 2018. Toimittaja, Tekniikan Maailma, Helsinki. Keskustelu 4.7.2018.
- 53 Kohonen, Jari. 2018. Tekniikan Maailma, Otavamedia. Nro 12/18, 20.6.2018.
- 54 Whiplash. 2009. Verkkoaineisto. Euro NCAP. <<https://www.euroncap.com/en/vehicle-safety/the-ratings-explained/adult-occupant-protection/whiplash/>>. Luettu 5.7.2018.
- 55 Seiniger, Patrik. 2018. AEB Car-Car and Pedestrian: Last Point to Steer for Various Cars and Speeds Verkkoaineisto. <<https://wiki.unece.org/download/attachments/60360943/AEBS-04-05%20%28Germany%29%20D%20approach.pdf?api=v2>>. Luettu 24.7.2018.
- 56 Driver Reaction Time. 2010. Verkkoaineisto. CLEPA. <<http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2010/wp29grrf/AEBS-LDWS-07-05e.pdf>>. 13.9.2010. Luettu 3.7.2018.
- 57 Koisaari, Tapio. 2018. Yhteyspäällikkö, OTI, Helsinki. Keskustelu 14.8.2018.
- 58 Automotive Technology That Gives Pedestrian Safety a Boost. 2018. Verkkoaineisto. Consumer Reports. <<https://www.consumerreports.org/automotive-technology/automotive-technology-that-gives-pedestrian-safety-a-boost/>>. 5.4.2018. Luettu 8.8.2018.

## **Lista luetuista käyttöohjekirjoista**

Seuraavassa on lista vuosimallien 2018–2019 automalleista, joiden käyttöohjekirjoista tarkastettiin AEB-järjestelmän rajoitteet.

- BMW 520d
- Citroën C3 Aircross
- Ford Fiesta
- Hyundai i30
- Hyundai Kona
- Kia Stinger
- Mazda CX-5
- Mercedes-Benz GLC
- Nissan Micra
- Opel Grandland X
- Opel Insignia
- Renault Scenic
- Seat Arona/Ibiza
- Skoda Karoq
- Suzuki Swift
- Toyota C-HR
- VW T-Roc
- Volvo V40
- Volvo V60 (2019)
- Volvo XC90.



## Testiohje AEB-järjestelmille: peräänajo 100 %, kesä

### Testiauton valmistelu:

1. Kerää auton ja AEB-järjestelmän tiedot pöytäkirjaan.
  2. Tarkasta rengaspaineet ja tankkaa auto. Pese auto. Tarkista antureiden ja ajovalojen puhtaus. **(Älä katso LIDAR-tunnistimeen, sillä se lähettää laseria!)**
  3. Asenna Mini-VBOX sekä GoProt: 1. oikeaan etusivulasiin kuvaamaan keiloja, 2. perään kuvaamaan takavalvoja, 3. ulkopuolelle kuvaamaan jarrutusta (huomioi tausta kuvauksissa).
  4. Kytke etumatkustajan turvavyö pois, ASR ja ESC normaalitilaan, ajovalot auto-asentoon.
  5. Aseta AEB:n herkkyys oletukseen (yleensä keskitaso), jos asetuksia on. Tarkasta, ettei vikavalvoja pala. Jos niitä palaa, käynnistä auto uudelleen ja tarkasta asetukset.
- Jos autossa on **ponnahtava konepelti tai jalankulkijan turvavyö**, vältä törmäämistä. **Älä tee jalankulkijatestiä, ellei em. ole kytketty pois!**
  - Jos AEB ei toimi, peitä GPS-antenni auton ollessa tunnistetulla tiealueella.

### Testiradan valmistelu:

1. Sääolosuhteet: sateeton ja valoisa, tuulen nopeus <10 m/s. Älä aja vastavaloon.
2. AEB-testiradan ja esteen ympärillä on oltava vapaata tilaa.
3. Kokoa este ja tarkasta sen kunto.
4. Aseta este ja ratamerkit merkityille paikoille. (Tarvittaessa mittaa ja merkitse rata.)

### Testin suoritus

Testiautossa on kuljettaja ja kirjuri. Jokaisesta onnistuneesta suorituksesta tehdään muistiinpanot. **Kaikkien autossa istuvien turvavyöt on oltava kytkettyinä.**

Suorituksia on kerryttävä vähintään 7 kpl. Auton ja esteen keskilinjan on oltava yhtenevä. Toleranssi ajonopeudelle on  $\pm 2$  km/h. Suurin testinopeus on 120 km/h. Ota vauhtia riittävän kaukaa.

Vakionopeussäätimen tai nopeudenrajoittimen käyttö **ei ole sallittua.**

Testissä on oltava kytkettynä joko D-asento tai vaihto-opastimen osoittama vaihde.

Voimakasta kaasu-, jarru- tai kytkinpolkimen painallusta, vaihteenvalitsimen tai suunta-merkin käyttöä tai voimakasta ohjausliikettä on vältettävä. Tuulilasias ei saa suorituksen aikana pestä.

Kun AEB-jarrutus alkaa, nosta jalka kaasulta. Älä paina kytkinpoljinta ennen auton pysähtymistä.

1. Suorita hätäjarrutus 80-0, jotta jarrut ja renkaat lämpenevät ennen testiä.
2. Käynnistä lähestymistä kuvaava GoPro. Kuvaa takavalojen toiminta korkeilla nopeuksilla.
3. **Pysähtymisnopeus:** Aloita nopeudella 20 km/h ja nosta nopeutta aina 5 km/h. Käännä auto jokaisen suorituksen jälkeen, jotta este katoaa testiauton näkökentästä. Kun AEB ei pysty estämään törmäystä, on edellinen nopeus **paras tulos**. Jos toiminta on epävarmaa, voi suorituksen uusia samalla nopeudella.
4. **Toimintavarmuus:** Tee testi 2 kertaa nopeudella, joka on 5 km/h parasta tulosta pienempi.
5. **AEB-varoitus:** Käynnistä etusivulasin GoPro ja sammuta muut. Aja 2 suoritusta nopeudella 70 km/h, kunnes AEB-varoitus alkaa. Väistä este varoituksen jälkeen. Videolta tarkastetaan jälkikäteen, milloin ensimmäinen varoitusääni alkaa. Tavoitenopeus on oltava 10 m ennen ensimmäistä arviointikeilaa.
6. Tarkasta lisäpisteitä antavat ominaisuudet, ja kirjaa ne pöytäkirjaan.

## Testiohje AEB-järjestelmille: peräänajo 100%, Talvitesti

### Testiauton valmistelu:

1. Kerää auton ja AEB-järjestelmän tiedot pöytäkirjaan.
  2. Tarkasta rengaspaineet ja tankkaa auto. Tarkista auton sekä antureiden ja ajovalojen puhtaus. **(Älä katso LIDAR-tunnistimeen, sillä se lähettää laseria!)**
  3. Asenna Mini-VBOX sekä GoProt: 1. oikeaan etusivulasiin kuvaamaan keiloja, 2. perään kuvaamaan takavalvoja, 3. ulkopuolelle kuvaamaan jarrutusta (huomioi tausta kuvauksissa).
  4. Kytke etumatkustajan turvavyö pois, ASR ja ESC normaalitilaan, ajovalot autoasentoon.
  5. Aseta AEB:n herkkyys oletukseen (yleensä keskitaso), jos asetuksia on. Tarkasta, ettei vikavalvoja pala. Jos niitä palaa, käynnistä auto uudelleen ja tarkasta asetukset.
- Jos autossa on **ponnahtava konepelti tai jalankulkijan turvavyö**, vältä törmäämistä. **Älä tee jalankulkijatestiä, ellei em. ole kytketty pois!**
  - Jos AEB ei toimi, peitä GPS-antenni auton ollessa tunnistetulla tiealueella.

### Testiradan valmistelu:

1. Sääolosuhteet: sateeton ja **pimeä**, tuulen nopeus <10 m/s. Älä aja vastavaloon.
2. AEB-testiradan ja esteen ympärillä on oltava vapaata tilaa.
3. Kokoa este ja tarkasta sen kunto.
4. Aseta este ja ratamerkit merkityille paikoille. (Tarvittaessa mittaa ja merkitse rata.)

### Testin suoritus

Testiautossa on kuljettaja ja kirjuri. Jokaisesta onnistuneesta suorituksesta tehdään muistiinpanot. **Kaikkien autossa istuvien turvavyöt on oltava kytkettyinä.**

Kohdissa 3 ja 5 on suorituksia kerryttävä yhteensä vähintään 7 kpl. Auton ja esteen keskilinjan on oltava yhtenevä. Toleranssi ajonopeudelle on  $\pm 2$  km/h. Suurin testinopeus on 100 km/h. Ota vauhtia riittävän kaukaa.

Vakionopeussäätimen tai nopeudenrajoittimen käyttö **ei ole sallittua.**

Testissä on oltava kytkettynä joko D-asento tai vaihto-opastimen osoittama vaihde.

Voimakasta kaasu-, jarru- tai kytkinpolkimen painallusta, vaihteenvalitsimen tai suunta-merkin käyttöä tai voimakasta ohjausliikettä on vältettävä. Tuulilasias ei saa suorituksen aikana pestä.

Kun AEB-jarrutus alkaa, nosta jalka kaasulta. Älä paina kytkinpoljinta ennen auton pysähtymistä.

1. Suorita hätäjarrutus 60-0, jotta jarrut ja renkaat lämpenevät ennen testiä.
2. Käynnistä lähestymistä kuvaava GoPro. Kuvaa takavalojen toiminta korkeilla nopeuksilla.
3. **Pysähtymisnopeus: Kytke esteeseen takavalot ja aja lähivaloilla. Aja vähintään 5 suoritusta.** Aloita nopeudella 10 km/h ja nosta nopeutta aina 5 km/h. Käännä auto jokaisen suorituksen jälkeen, jotta este katoaa testiauton näkökentästä. Kun AEB ei pysty estämään törmäystä, on edellinen nopeus **paras tulos**. Jos toiminta on epävarmaa, voi suorituksen uusia samalla nopeudella.
4. **AEB-varoitus:** Käynnistä sivulasin GoPro ja sammuta muut. Aja 2 suoritusta nopeudella 70 km/h, kunnes AEB-varoitus alkaa. Arvioi, alkaako jarrutus aiemmin. Väistä este jarrutuksen alkamisen jälkeen. Videolta tarkastetaan, milloin varoitusääni alkaa. Tavoitenopeus on oltava 10 m ennen ensimmäistä arviointikeilaa.
5. **Toimintavarmuus: Sammuta esteen takavalot ja aja kaukovaloilla.** Tee testi 2 kertaa nopeudella, joka on 5 km/h parasta tulosta pienempi.
6. Tarkasta lisäpisteitä antavat ominaisuudet, ja kirjaa ne pöytäkirjaan.

## AEB-testin pöytäkirja

Auton tiedot*	
Koeajo / vertailu	
Merkki ja malli	
Rekisterinumero	
Kameran tyyppi, sijainti	
Tutka, sijainti	
LIDAR, sijainti	
Anturit lämmitettyjä	kyllä / ei
Alkuvalmistelut tehty	kyllä / ei
AEB:n oletusasetus	

**\*Lisätiedot:**

- Onko autossa ponnahtava konepelti / jalankulkijan turvatyyny?
- nopeusalueet, joissa toimii (kiinteä / liikkuva este / jalankulkija / jne.)

Muistiinpanot (tarkkaile testin aikana lisäpisteisiin oikeuttavia toimintoja)				
Suoritus	Nopeus	Reagointi	Pysähtyminen	Kommentit
1	20 km/h			
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
Toiminta 2 kertaa peräkkäin samalla nopeudella			kyllä/ei	

**AEB-varoitus**

Millä tavoin kuljettajaa varoitetaan? Onko varoitus riittävän huomiota herättävä? Muuttuuko se nopeuden muuttuessa?

Kuva 1. AEB-testin pöytäkirjan ensimmäinen osa (kesäolosuhteet).

Testausolosuhteet	
Päivämäärä	
Klo	
Paikka	
Säätila	
Lämpötila	
Valaistus	
Kuljettaja / kirjuri	
Este	Auto 3.0

Arviointi (ks. AEB-arviointiohje)		
Osa-alue	Painoarvo	Arvosana
Suurin pysähtymisnopeus	50 %	0
Toimintavarmuus	30 %	0
AEB-varoituksen tyyppi 70 km/h	10 %	0
AEB-varoituksen ennakko 70 km/h	10 %	0
Lisäpisteet	Korotus	Lisäpisteet
Varoitus kaikilla nopeuksilla	0,1	0
Turvavöiden esikiristys (vakio)	0,1	0
Muiden autoilijoiden varoitus (vilkkuvat jarruvalot/hätävilkut)	0,1	0
AEB pitää auton paikallaan	0,1	0
AEB on vakiovaruste	0,1	0
<b>AEB-järjestelmän arvosana</b>		<b>0</b>

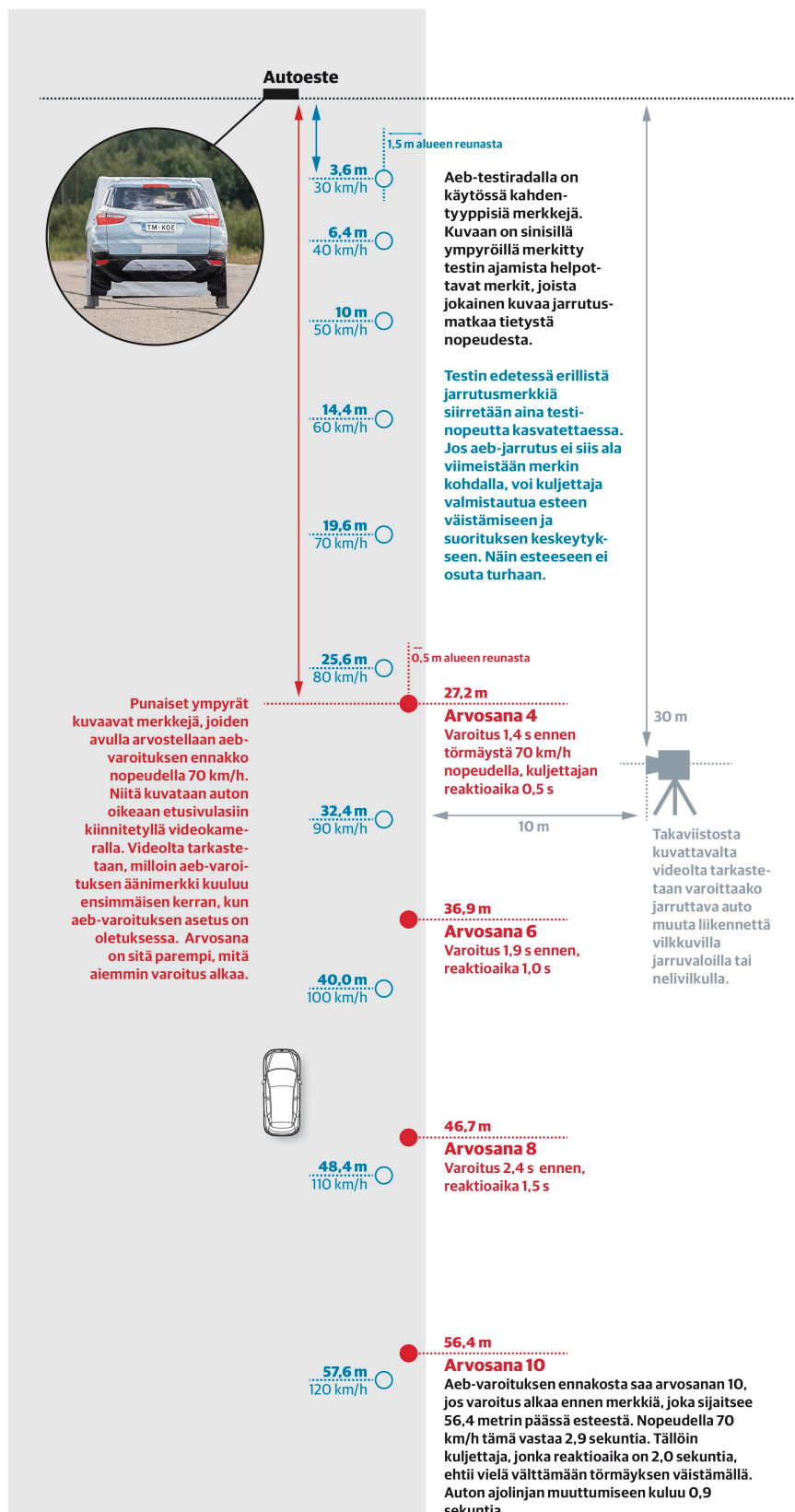
Kuva 2. AEB-testin pöytäkirjan toinen osa (kesäolosuhteet).

## **AEB-testin tarvikkeet**

AEB-testiin tarvitaan seuraavat tarvikkeet:

- autoeste
- radan pohjapiirustus
- ratamerkit (jarrutusmerkit 1 kpl, 4 merkkikeilaa)
- mini-VBOX
- 3 x GoPro, kiinnikkeet ja muistikortit
- pitkä mittanauha
- maalia.

## AEB-testiradan pohjapiirros



Kuva 1. AEB-testirata [Lakinnoro, Atte. 2018. Tekniikan Maailma, Otavamedia. 12.9.2018.].

**AEB-järjestelmän arvostelukriteerit, arvosanarajat ja painotus (kesä)****1. Pysähtymisnopeus ( $\pm 2$  km/h) 50%**

25 km/h	4
30	4,5
35	5
40	5,5
45	6
50	6,5
55	7
60	7,5
65	8
70	8,5
75	9
80–95	9,5
100–120	10

**2. Toimintavarmuus (7 peräkkäistä suoritusta sekä varmuustesti) 30%**

1/7	4
2/7	5
3/7	6
4/7	7
5/7	8
6/7	9
7/7	10

**Varmuustesti:** Vähennä onnistuneista 1 kpl, jos järjestelmä ei toimi kahta kertaa samalla nopeudella (paras tulos –5 km/h). **Toiminta = AEB-jarrutuksen alkaminen.**

**3. AEB-varoituksen tyyppi nopeudella 70 km/h 10%**

Varoituksen tyypit ovat auditiivinen, visuaalinen ja haptinen.

1 kpl	4
2 kpl	7
3 kpl	10



**4. AEB-varoituksen ennakko nopeudella 70 km/h (tarkastus videolta) 10%**

27,2 m ( $t_r = 0,5$ s)	4
36,9 m ( $t_r = 1,0$ s)	6
46,7 m ( $t_r = 1,5$ s)	8
56,4 m ( $t_r = 2,0$ s)	10

**5. Lisäpisteet, joilla arvosana korottuu enintään 0,5**

- Varoitus aina ennen toimintaa (ei jarruta yllättäen edes pienessä nopeudessa) **0,1**
- Turvavöiden esikiristys (vakio) **0,1**
- Vilkkuvat jarruvalot / hätävilkut **0,1**
- Auto pysyy paikallaan pysähtymisen jälkeen. **0,1**
- AEB on vakiovaruste mallissa. **0,1**

- **Tekstiin:**

- AEB-varoituksen arvostelu: tyyppi, havaittavuus ja muuttuminen nopeuden kasvaessa

**Lisäksi mainitaan:** suurin pysähtymisnopeus, toimintavarmuus, AEB:n vakio- tai lisävarusteisuus sekä mahdolliset nopeusrajat toiminnalle

**AEB-järjestelmän arvostelukriteerit, arvosanarajat ja painotus (Talvitesti)****1. Pysähtymisnopeus ( $\pm 2$  km/h) 50%**

15 km/h	4
20	4,5
25	5
30	5,5
35	6
40	6,5
45	7
50	7,5
55	8
60	8,5
65	9
70–75	9,5
80–100	10

**2. Toimintavarmuus (5 suoritusta lähivaloilla ja 2 kaukovaloilla) 30%**

1/7	4
2/7	5
3/7	6
4/7	7
5/7	8
6/7	9
7/7	10

**Toiminta = AEB-jarrutuksen alkaminen.**

**3. AEB-varoituksen tyyppi nopeudella 70 km/h 10%**

Varoituksen tyypit ovat auditiivinen, visuaalinen ja haptinen.

1 kpl	4
2 kpl	7
3 kpl	10

**4. AEB-varoituksen ennako nopeudella 70 km/h (tarkastus videolta) 10%**

36,0 m ( $t_r = 0,5$ s)	4
45,7 m ( $t_r = 1,0$ s)	6
55,4 m ( $t_r = 1,5$ s)	8
65,1 m ( $t_r = 2,0$ s)	10

**5. Lisäpisteet, joilla arvosana korottuu enintään 0,5**

- Tunnistimissa/kamerassa lämmitys	<b>0,1</b>
- Turvavöiden esikiristys (vakio)	<b>0,1</b>
- Vilkkuvat jarruvalot / hätävilkut	<b>0,1</b>
- AEB on vakiovaruste mallissa	<b>0,1</b>
- Auto pysyy paikallaan pysähtymisen jälkeen	<b>0,05</b>
- Varoitus aina ennen toimintaa (ei jarruta yllättäen edes pienessä nopeudessa)	<b>0,05</b>

**• Tekstiin:**

- AEB-varoituksen arvostelu: tyyppi, havaittavuus ja muuttuminen nopeuden kasvaessa.

**Lisäksi mainitaan:** Toiminta esteen perä pimeänä, suurin pysähtymisnopeus, toimintavarmuus, AEB:n vakio- tai lisävarusteisuus sekä mahdolliset nopeusrajat toiminnalle, muut koko Talvitestin aikana tehdyt havainnot.